



**T.C.**  
**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEN PARÇACIKLI SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE PID  
PARAMETRELERİNİN AYARLANMASI**

**GÖKÇEN GİDEMEN CÜCÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY**  
**OCAK-2018**

**T.C.**  
**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEN PARÇACIKLI SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE PID**  
**PARAMETRELERİNİN AYARLANMASI**

**GÖKÇEN GİDEMEN CÜCÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY**  
**OCAK-2018**

T.C.  
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: Yenilenen Parçacıklı Sürü Optimizasyonu ile PID Parametrelerinin  
Ayarlanması

Öğrencinin, Adı Soyadı: Gökçen GİDEMEN CÜCÜ

Tez Savunma Tarihi: 19.01.2018

Kod No: 85

Enstitü Onayı:

Doç. Dr. Mustafa Demirci  
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

Doç.Dr. Emin Ünal  
Abd Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(Unvanı, Adı ve SOYADI)  
İkinci Tez Danışmanı (varsa)

Yrd. Doç. Dr. Murat FURAT  
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Yrd. Doç. Dr. Murat FURAT

.....

Doç. Dr. Yakup HAMEŞ

.....

Yrd. Doç. Dr. Alkan ALKAYA

.....

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**19.01.2018**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

**Gökçen GİDEMEN CÜCÜ**

## ÖZET

### YENİLENEN PARÇACIKLI SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE PID PARAMETRELERİNİN AYARLANMASI

Bu çalışmada, endüstriyel ortamda yaygın olarak tercih edilen PID (Oransal, İntegral, Türevsel) denetleyicinin optimizasyonu için PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) yöntemi ele alınmıştır. PID denetleyici parametrelerinin kullanılan sistem üzerindeki etkisi fiziksel olarak ölçülebildiğinden, optimizasyon algoritmaları ile uygun parametrelerin bulunması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Geleneksel PSO ile yapılan çalışmalarda, optimizasyon için sadece en iyi parçacık çevresinde yoğunlaşmıştır. Ancak, başta seçilen parçacıklar arasındaki en iyi parçacıktan ziyade, başka bir parçacığın daha iyi olma olasılığı üzerinde durulmamıştır.

Bu çalışmada, geleneksel PSO yöntemi geliştirilerek her bir döngüde yeni bir parçacık çözüme katılmıştır. Böylece, başta belirlenen aday çözümlerin dışında da çözüm aranmıştır. Bu amaçla, her döngünün sonunda ortaya çıkan en kötü sonucu veren parçacık, yeni bir parçacıkla değiştirilmiştir. Buna ek olarak, PID denetleyicinin sistem çıkındaki fiziksel etkileri göz önünde bulundurularak, yeni aday seçimi için farklı stratejiler geliştirilmiştir.

Geleneksel PSO ile geliştirilen PSO yöntemleri, bir elektromekanik sistem modeli üzerinde farklı sayılardaki parçacıklarla PID denetleyici optimizasyonunda test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile geliştirilen yöntemlerin, daha az parçacıkla daha kısa sürede optimum çözümlere ulaşabileceği gösterilmiştir. Böylece, gerçek sistemlerde PID optimizasyonu için deneme maliyeti daha düşük bir PSO yöntemi önerilmiştir.

2018, 53 sayfa

**Anahtar kelimeler:** PID denetleyici, PSO, Yenilenen Parçacıklı PSO, Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO.

## ABSTRACT

### TUNING OF PID PARAMETERS WITH RENEWED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

In present study, PSO (Particle Swarm Optimization) technique which is widely preferred for PID (Proportional, Integral, Derivative) controller optimization in the industrial environment is taken into account. Since the effect of PID controller parameters on the controlled system is measurable, many studies have been performed with optimizing algorithms to find optimum parameters. In traditional PSO studies, it is only focused around the best particle for the optimization. On the other hand, rather than the best particle which is selected from initial particles, there is no emphasis on the possibility of another particle being better.

In this study, the traditional PSO technique has been improved and a new particle solution has been introduced in each cycle. Therefore, a solution was sought out of the initial candidate solutions. For this purpose, the particle which is worst-coupling end of the each cycle has been replaced new candidate particle. In addition, considering the physical effects of the PID controller on the system, different strategies have been developed for the new candidate particle selection.

Traditional and improved PSO techniques are used for PID controller optimization with different numbers of particles on an electromechanical system model. According to the results, the optimal solutions can be obtained within shorter time and less particles. In this way, a PSO technique with a lower trial cost for PID optimization is proposed for real systems.

2018, 53 pages

**Key Words:** PID controller, PSO, Renewed PSO, Limited Renewed PSO.

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, araştırılması ve tezin yazımı sırasında sahip olduğu kıymetli bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren, her türlü yardımı ve anlayışı esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Murat FURAT'a sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Eđitim hayatım boyunca ve çalışmam süresince maddi manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince, gösterdikleri anlayıştan dolayı Atlas Enerji Üretim A.Ő. ailesine çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çıkış Grafiğine Bağlı PID Optimizasyon Yöntemleri.....	5
1.1.1. Açık Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi.....	5
1.1.2. Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi.....	6
1.1.3. Cohen-Coon Ayarlama Yöntemi.....	6
1.1.4. Chien – Hrones – Reswick Ayarlama Yöntemi.....	7
1.1.5. Wang – Juang – Chan Ayarlama Yöntemi.....	8
1.1.6. ¼ Bozunma Oranlı Ayarlama Yöntemi.....	9
1.2. Sezgisel Algoritmalar.....	9
1.2.1. Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm, ACO).....	9
1.2.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm, ABC).....	10
1.2.3. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms, GA).....	11
1.2.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO).....	12
1.3. Bu Çalışmada Yapılan Katkılar.....	16
1.4. Tezin Ana Hatları.....	17
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
2.1. Materyal.....	18
2.2. Yöntem.....	19
2.2.1. Uygunluk Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi.....	20
2.2.2. Yenilenen Parçacıklı PSO (YP – PSO) Algoritması.....	21
2.2.3. Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO (SYP – PSO) Algoritması.....	22
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	25
3.1. Ön Çalışma.....	25
3.1.1. PID Parametreleri Ayarlama Yöntemlerinin İncelenmesi.....	25
3.1.2. Uygunluk Fonksiyonu Seçimi.....	28
3.2. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	33
3.2.1. Algoritmaların Uygunluk Fonksiyonu Performanslarının Karşılaştırılması.....	34
3.2.2. Algoritmaların Kontrol Sinyali Performanslarının Karşılaştırılması.....	39
3.2.3. Algoritmaların Çıkış Performanslarının Karşılaştırılması.....	43
4. SONUÇ.....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. PID Denetleyici Yapısı .....	1
Şekil 1.2. Paralel bağılı PID denetleyici yapısı .....	2
Şekil 1.3. Karışık bağılı PID denetleyici yapısı .....	2
Şekil 1.4. Oransal kazancın ( $k_p$ ) sistem çıkışına etkisi.....	3
Şekil 1.5. İntegral kazancının ( $k_i$ ) sistem çıkışına etkisi .....	4
Şekil 1.6. Türevsel kazancın ( $k_d$ ) sistem çıkışına etkisi .....	5
Şekil 1.7. PSO yöntemi ile en iyiye ulaşma .....	13
Şekil 1.8. Geleneksel PSO Algoritması .....	15
Şekil 2.1. PSO ile PID Denetleyicinin Blok Diyagramı.....	19
Şekil 2.2. Geleneksel PSO algoritması ve önerilen PSO algoritması .....	22
Şekil 2.3. Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO Algoritması.....	23
Şekil 3.1. P denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları.....	30
Şekil 3.2. PI denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları.....	31
Şekil 3.3. PID denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları.....	32
Şekil 3.4. $k_p$ , $k_i$ , $k_d$ için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi (n=20).....	35
Şekil 3.5. $k_p$ , $k_i$ , $k_d$ için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi (n=10).....	37
Şekil 3.6. $k_p$ , $k_i$ , $k_d$ için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi (n=5).....	38
Şekil 3.7. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=20).....	40
Şekil 3.8. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=10).....	41
Şekil 3.9. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=5).....	42
Şekil 3.10. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=20 parçacık için sistem çıkış grafikleri .....	44
Şekil 3.11. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=10 parçacık için sistem çıkış grafikleri .....	45
Şekil 3.12. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=5 parçacık için sistem çıkış grafikleri.....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Açık Çevrim Ziegler – Nichols PID parametreleri ayarlama kuralları .6	
Çizelge 1.2. Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols PID parametreleri ayarlama kuralları.....6	6
Çizelge 1.3. Cohen – Coon PID Parametreleri Ayarlama Kuralları .....7	7
Çizelge 1.4. CHR yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları (referans regülasyonu) .....8	8
Çizelge 1.5. CHR yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları (bozucu etkisi durduran).....8	8
Çizelge 1.6. Wang – Juang – Chan yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları.....8	8
Çizelge 1.7. ¼ Bozunma oranlı ayarlama yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları.....9	9
Çizelge 3.1. Açık Çevrim Ziegler-Nichols Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri .....25	25
Çizelge 3.2. Kapalı Çevrim Ziegler-Nichols Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri.....26	26
Çizelge 3.3. Cohen – Coon Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri....26	26
Çizelge 3.4. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Referans regülasyonu için %0 aşım).....27	27
Çizelge 3.5. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Referans regülasyonu için %20 aşım).....27	27
Çizelge 3.6. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Bozucu etkiyi durduran, %0 aşım).....27	27
Çizelge 3.7. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Bozucu etkiyi durduran, %20 aşım).....27	27
Çizelge 3.8. Wang – Juang – Chan Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri .....28	28
Çizelge 3.9. ¼ Bozunma Oranlı Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri .....28	28
Çizelge 3.10. Parçacık sayısı 20, 10, 5 için Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri ile elde edilen $k_p$ , $k_i$ , $k_d$ değerleri.....34	34
Çizelge 3.11. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin n=20 parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri.....36	36
Çizelge 3.12. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin n=10 parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri.....36	36
Çizelge 3.13. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin n=5 parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri.....38	38
Çizelge 3.14. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyallerinin farklı parçacık sayılarındaki standart sapma değerleri .....42	42
Çizelge 3.15. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak n=20 parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE, $e_{ss}$ , $y_{max}$ değerleri.....43	43
Çizelge 3.16. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak n=10 parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE, $e_{ss}$ , $y_{max}$ değerleri.....45	45

Çizelge 3.17. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak n=5 parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE, $e_{ss}$ , $y_{max}$ değerleri .....	47
--	----



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$x_{k_p, k_i, k_d}^j$	: Döngüdeki j. parçacığın değeri
$x_{k_p, k_i, k_d}^j(pbest)$	: Döngüdeki j. parçacığın yerel en iyi değeri
$\tau_p$	: Sistemin zaman sabiti
$x_{k_p, k_i, k_d}(gbest)$	: Yerel en iyiler arasından seçilen küresel en iyi parçacık
$c_1, c_2$	: Hızlandırma sabitleri
$e$	: Referans değeri ile sistem çıkışı arasındaki fark, hata
$e_{ss}$	: Kalıcı durum hatası
$f_d$	: D kontrol için küresel uygunluk fonksiyonu
$f_i$	: I kontrol için küresel uygunluk fonksiyonu
$f_p$	: P kontrol için küresel uygunluk fonksiyonu
$G(s)$	: Transfer fonksiyonu
$g_{best}$	: Küresel en iyi parçacık
$i$	: Döngü numarası
$j$	: Sıra numarası
$K$	: Kazanç
$k_d$	: Türevsel kazanç
$k_i$	: İntegral kazanç
$K_m$	: Kalıcı durum çıkışının referansa oranı
$K_{max}$	: Sistem çıkış genliğinin $\frac{1}{4}$ oranında bozunmaya uğradığı oransal kazanç değeri
$k_p$	: Oransal kazanç
$K_u$	: Sürekli salınımı veren $k_p$ kazancı
$L$	: Ölü zaman
$n$	: Aday çözüm sayısı
$N$	: Örnek sayısı
$p_{best}$	: Yerel en iyi parçacık
$P_u$	: Sürekli salınım periyodu
$r$	: Referans
$R1, R2$	: 0 ile 1 arasından seçilen rastgele sayılardan oluşan matrisler
$s$	: Zaman, saniye
$T$	: Zaman sabiti
$t_1$	: Sistem basamak cevabının sürekli hal değerinin %28,3'üne ulaştığı zaman
$t_2$	: Sistem basamak cevabının sürekli hal değerinin %63,2'sine ulaştığı zaman
$T_d$	: Türevsel kazanç
$t_d$	: Zaman gecikmesi
$T_i$	: 1/integral kazanç
$T_u$	: Sistem çıkış genliğinin $\frac{1}{4}$ oranında bozunmaya uğradığı salınının periyodu
$u$	: Kontrol sinyali
$v$	: Parçacık hız değeri

w	: Eylemsizlik momenti
x	: Parçacık konum değeri
y	: Çıkış
y <sub>ss</sub>	: Kalıcı durum çıkışı

### **KISALTMALAR**

ABC	: Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)
ACO	: Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm)
GA	: Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)
IAE	: Hatanın mutlak değerlerinin toplamı (Integral of Absolute Error)
ISE	: Hatanın karelerinin toplamı (Integral of Squared Error)
ITAE	: Zaman ağırlıklı mutlak hataların toplamı (Integral of Time Weighted Absolute Error)
ITSE	: Zaman ağırlıklı hataların karelerinin toplamı (Integral of Time Weighted Squared Error)
MSE	: Hataların karelerinin ortalaması (Mean Square Error)
P	: Oransal (Proportional)
PI	: Oransal, İntegral (Proportional, Integral)
PID	: Oransal, İntegral, Türevsel (Proportional, Integral, Derivative)
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
SYP – PSO	: Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO
YP – PSO	: Yenilenen Parçacıklı PSO

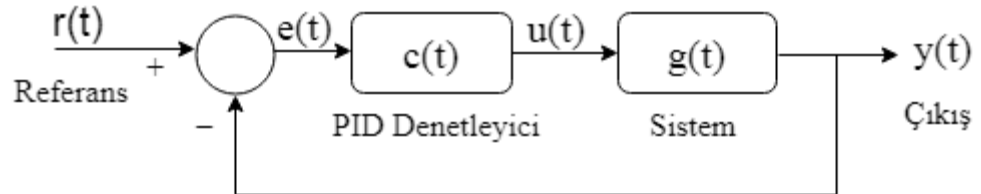
## 1. GİRİŞ

Kontrol, gelişen teknolojiyle beraber çağımızın önemli bir gerekliliği haline gelmiştir. Canlıların hayatlarında doğal olarak var olan bu mekanizma, özellikle endüstriyel alandaki ihtiyaç dolayısıyla, çeşitli matematiksel ifadelerle sanayide de etkin şekilde kullanım alanı bulmuştur. Sanayideki birçok sektörde çeşitli proses, enstrüman, verilerin kontrolü sistemin işleyişi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu kontrol ihtiyacı dolayısıyla geliştirilen çeşitli denetleyici türlerinden biri olan PID (Oransal, İntegral, Türevsel), yaygın olarak kullanılmaktadır (Hajisalm ve Altaş, 2014; Aygün, 2011; Akat ve ark., 2007; İbrahim ve ark., 2014; Ye ve ark., 2017; Padula ve ark., 2011)

PID denetleyicinin yaygın kullanılan denetleyici türlerinden biri olmasının sebepleri arasında az sayıda ayarlanacak parametresinin olması, her bir parametrenin sistem çıkışına fiziksel olarak etkisinin gözlemlenebilmesi ve kullanıcı tarafından uzmanlık gerektirmeden manuel olarak ayarlanabilme imkanının olması sayılabilir (Alrashidi ve El-Hawary, 2007; Modares ve ark., 2010).

Şekil 1.1.'de verilen negatif geri beslemeli PID denetleyicide;  $u(t)$ , denetleyici çıkışından elde edilen ve sisteme uygulanacak kontrol sinyalidir. Referans değeri ile sistem çıkışı arasındaki fark ise hata,  $e(t)$ , PID denetleyicinin giriş sinyalidir (Eşitlik 1.1.) (Gidemen ve Furat, 2015).

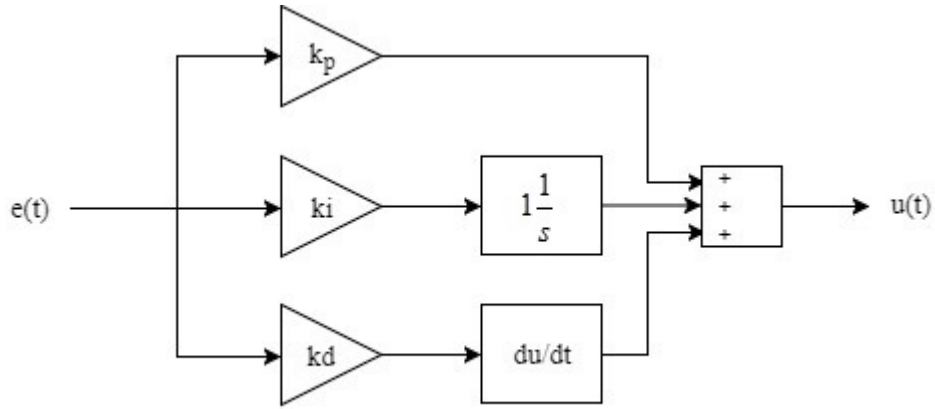
$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1.1)$$



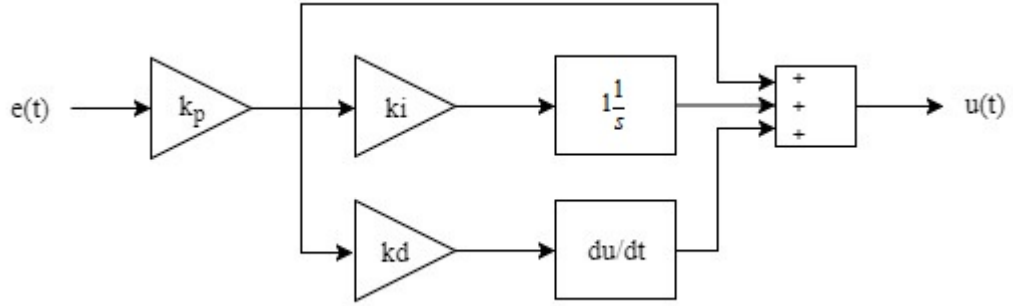
Şekil 1.1. PID Denetleyici Yapısı

Burada,  $r(t)$  sistemin referansı,  $y(t)$  ise sistemin çıkışıdır.

Şekil 1.2. ve Şekil 1.3.'de literatürde yaygın olarak kullanılan PID bağlantı şekilleri görülmektedir. PID denetleyiciyi oluşturan her bir terimin birbirine paralel bağlanması ile oluşturulan Şekil 1.2.'deki yapıda, kontrol sinyali her bir terimin çıkışının toplamından oluşur. Şekil 1.3.'de ise oransal terim ile hata genliği baştan artırılarak karışık yapılı bir bağlantı mevcuttur. Eşitlik 1.2 ve 1.3.'te sırasıyla bu bağlantı şekilleri ile elde edilen denetleyici transfer fonksiyonları verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015).



Şekil 1.2. Paralel bağlı PID denetleyici yapısı



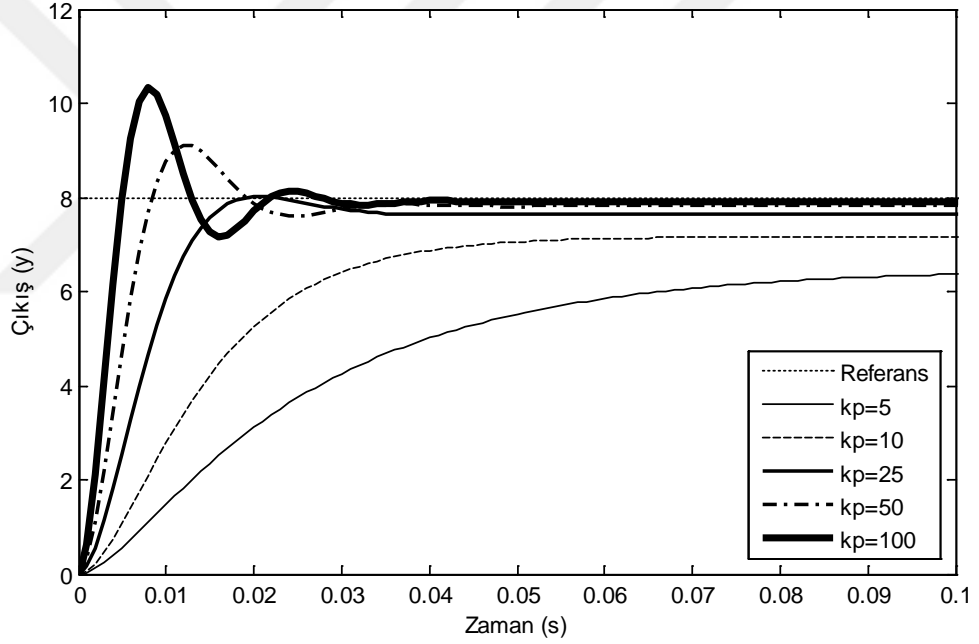
Şekil 1.3. Karışık bağlı PID denetleyici yapısı

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1.2)$$

$$u(t) = k_p \left[ e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.2 ve 1.3.'te  $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$  PID denetleyici parametreleridir ve sırasıyla oransal kazanç, integral kazanç ve türevsel kazancı temsil etmektedir (Gidemen ve Furat, 2015; Furat ve Gidemen, 2016).

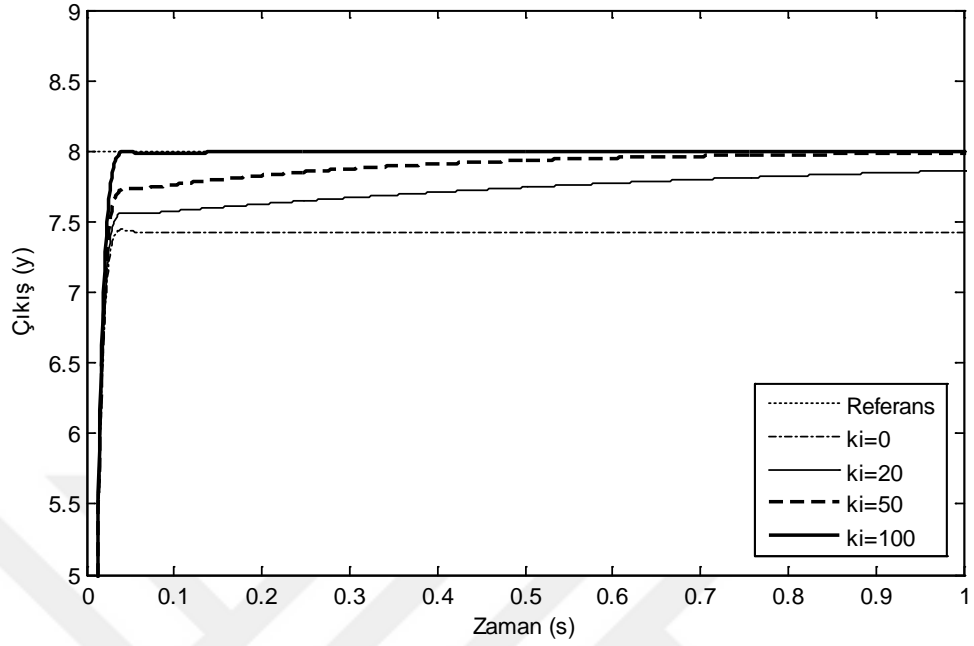
Oransal kontrol; hata miktarı ve oransal kazanç ile doğru orantılı şekilde çıkış üretir. Sistemin dinamik cevabını, yani sistem çıkışının referans değerine ulaşma hızını artırır. Buna ek olarak, belirli bir değere gelene kadar oransal kazanç artırıldığında kalıcı durum hatası azalır ancak bu değerden sonra sistem çıkışında oluşan osilasyon nedeniyle sistem kararsızlığa gidecektir (Gidemen ve Furat, 2015; Ömürlü, 2017; Khanduja ve ark., 2016). Şekil 1.4.'te, referansı 8V olan bir sistemde,  $k_p$  değerinin değişiminin sistem çıkışına olan etkisini gösteren grafik yer almaktadır.



Şekil 1.4. Oransal kazancın ( $k_p$ ) sistem çıkışına etkisi

İntegral kontrol, hata miktarı ve integral kazanca bağlı olarak çıkış üretir. Belirli bir değere kadar artırıldığında sistemin kalıcı durum hatasını yok eder ancak, daha yüksek değerlerde sistemi kararsızlığa götürebilir (Gidemen ve Furat, 2015; Ömürlü, 2017; Khanduja ve ark., 2016). Şekil 1.5.'te, referansı 8V olan bir sistemde  $k_i$  değerinin değişiminin çıkışa etkisini gösteren grafik yer almaktadır.

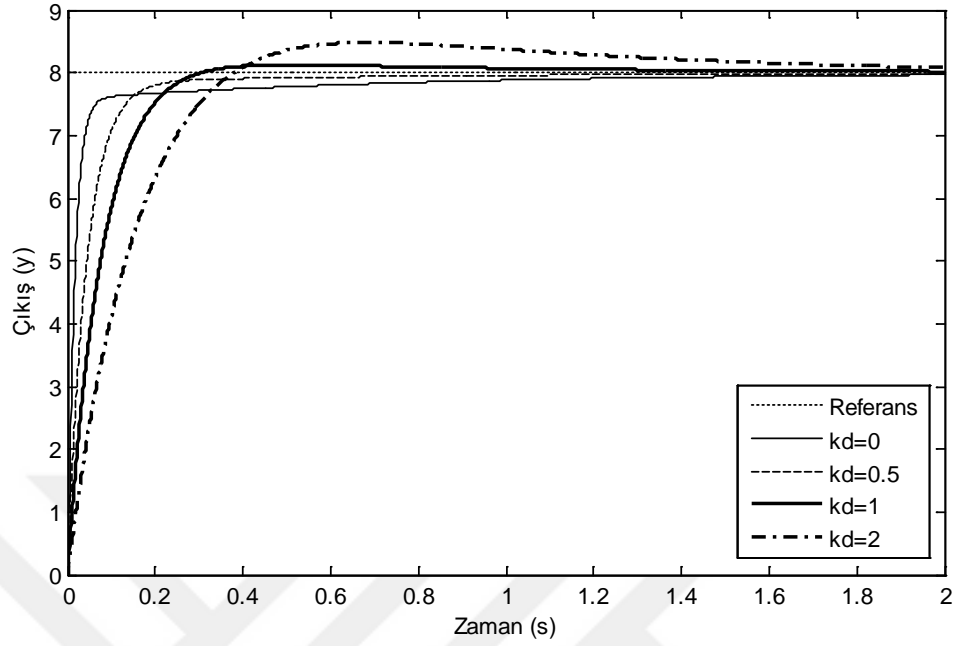




Şekil 1.5. İntegral kazancının ( $k_i$ ) sistem çıkışına etkisi

Türevsel kontrol; türevsel kazanç ve hatanın değişim hızına bağlı olarak çıkış üretir. Sistemin dinamik cevabının hızını ve sistemin kararlılığını artırır fakat gürültülü sistemlerde kontrol sinyalinde aşırı genlikli osilasyona sebep olduğundan özellikle endüstriyel alanda pek tercih edilmez. Hatanın sabit olma durumunda türevsel kontrol çıkış üretmeyecektir (Gidemen ve Furat, 2015; Ömürlü, 2017; Khanduja ve ark., 2016). Şekil 1.6.'da referans değeri olan gürültüsüz bir sistemde,  $k_d$  değerinin değişiminin sistem çıkışına olan etkisini gösteren grafik yer almaktadır.

PID denetleyici kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta yukarıda anlatılan  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  PID parametrelerinin ayarlanmasıdır. Ayarlama işlemi sonrasında bir kontrol sinyali elde edilir ve kontrolü sağlanmak istenilen sisteme uygulanır. Kontrol sinyalinin sistem üzerinde başarılı sonuç verebilmesi için parametrelerin doğru ayarlanması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bunlar arasında sistemin çıkış grafiğinden faydalanılarak yapılan optimizasyon yöntemleri ile bu çalışma konusu olan sezgisel algoritmalar sonraki bölümde incelenecektir (Hajisalm ve ark., 2014; Gidemen ve Furat, 2015).



Şekil 1.6. Türevsel kazancın ( $k_d$ ) sistem çıkışına etkisi

## 1.1. Çıkış Grafiğine Bağlı PID Optimizasyon Yöntemleri

PID denetleyici parametrelerinin ayarlanması için kullanılan yöntemler arasında literatürde yer alan çıkış grafiğine bağlı yöntemlerde, sistemin açık çevrim ya da kapalı çevrimde verdiği cevaptan faydalanılarak PID parametreleri için çeşitli değerlere ulaşılır. Bu bölümde, sıklıkla kullanılan bu yöntemler ele alınmıştır.

### 1.1.1. Açık Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi

Sisteme basamak girişi uygulandığında elde edilen çıkış eğrisinden zaman sabiti,  $T$ , (çıkış eğrisinin en doğrusal bölgesine çizilen teğetin zaman eksenini kestiği nokta ve teğetle referans değerini kesiştiği zaman arasındaki fark) ve ölü zaman,  $L$ , (çıkış eğrisinin en doğrusal bölgesine çizilen teğetin zaman eksenini kestiği nokta ile sıfır arasındaki fark) elde edilir. Elde edilen zaman sabiti ve ölü zaman Çizelge 1.1.'de yerine konulduğunda P, PI ve PID denetleyici için gerekli parametrelerin değerleri hesaplanır (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 1.1. Açık Çevrim Ziegler – Nichols PID parametreleri ayarlama kuralları

Denetleyici Türü	$k_p$	$T_i(1/k_i)$	$k_d(T_d)$
P	$T/L$	$\infty$	$0$
PI	$0,9T/L$	$L/0,3$	$0$
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

### 1.1.2. Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi

Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols yönteminde sisteme basamak girişi uygulanıp integral ve türevsel kazançlar sıfır yapılır ve oransal kazancın değeri sıfırdan başlanarak sistem çıkışında sabit genlikli sürekli salınım görülene kadar artırılır. Sürekli salınımı veren  $k_p$  kazancı  $K_u$ , salınımın periyodu ise saniye cinsinden  $P_u$  olarak tespit edilir ve Çizelge 1.2.'den faydalanılarak P, PI ve PID için  $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$  parametrelerinin değerleri bulunur (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 1.2. Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols PID parametreleri ayarlama kuralları

Denetleyici Türü	$k_p$	$T_i(1/k_i)$	$k_d(T_d)$
P	$0,5K_u$	$\infty$	$0$
PI	$0,45K_u$	$1/1,2P_u$	$0$
PID	$0,6K_u$	$0,5P_u$	$0,125P_u$

### 1.1.3. Cohen-Coon Ayarlama Yöntemi

Cohen-Coon ayarlama yönteminde sisteme basamak giriş uygulanır. Basamak cevabının sürekli hal değerinin %28,3'üne ulaştığı zaman  $t_1$  ve %63,2'sine ulaştığı zaman  $t_2$  olarak tespit edilir.  $t_1$  ve  $t_2$  değerleri ile  $\zeta_m = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$ ,  $d = t_2 - \zeta_m$  ve sistem kazancı kalıcı durum çıkışının sisteme uygulanan giriş genliğine bölümü ile,  $K_m = \frac{y_{ss}(t)}{r(t)}$ ,

hesaplanır. Bu değerler ve Çizelge 1.3.'ten faydalanılarak P, PI, PD ve PID denetleyici için  $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$  parametreleri hesaplanır (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 1.3. Cohen – Coon PID Parametreleri Ayarlama Kuralları

Denetleyici Türü	$K_p$	$T_i(1/K_i)$	$K_d(T_d)$
P	$\frac{\zeta_m}{K_m d} \left(1 + \frac{d}{3\zeta_m}\right)$	---	---
PI	$\frac{\zeta_m}{K_m d} \left(\frac{9}{10} + \frac{d}{12\zeta_m}\right)$	$d \frac{30+3d/\zeta_m}{9+20d/\zeta_m}$	---
PD	$\frac{\zeta_m}{K_m d} \left(\frac{5}{4} + \frac{d}{12\zeta_m}\right)$	---	$d \frac{6-2d/\zeta_m}{22+3d/\zeta_m}$
PID	$\frac{\zeta_m}{K_m d} \left(\frac{4}{3} + \frac{d}{4\zeta_m}\right)$	$d \frac{32+6d/\zeta_m}{13+8d/\zeta_m}$	$d \frac{4}{11+2d/\zeta_m}$

#### 1.1.4. Chien – Hrones – Reswick Ayarlama Yöntemi

Chien – Hrones – Reswick (CHR) ayarlama yönteminde sisteme basamak giriş uygulanır. Sistemin basamak cevabından L (ölü zaman), T (zaman sabiti), K (kazanç) elde edilir. Bu değerler ile öncelikle  $a = \frac{KL}{T}$  hesaplanır. Çizelge 1.4.'te referans regülasyonu için, Çizelge 1.5.'te ise bozucu etkisini durdurmak için gerekli P, PI ve PID parametrelerinin elde edilmesiyle ilgili formüller verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015):

Çizelge 1.4. CHR yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları (referans regülasyonu)

Denetleyici Türü	%0 Aşım			%20 Aşım		
	$k_p$	$T_i$	$T_d$	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,3/a$	---	---	$0,7/a$	---	---
PI	$0,35/a$	$1,2T$	---	$0,6/a$	$T$	---
PID	$0,6/a$	$T$	$0,5L$	$0,95/a$	$1,4T$	$0,47L$

Çizelge 1.5. CHR yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları (bozucu etkisi durduran)

Denetleyici Türü	%0 Aşım			%20 Aşım		
	$k_p$	$T_i$	$T_d$	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,3/a$	-	-	$0,7/a$	-	-
PI	$0,6/a$	$4L$	-	$0,7/a$	$2,3L$	-
PID	$0,95/a$	$2,4L$	$0,42L$	$1,2/a$	$2L$	$0,42L$

### 1.1.5. Wang – Juang – Chan Ayarlama Yöntemi

Bu yöntemde de L (ölü zaman), T (zaman sabiti) ve K (kazanç) değerlerinin bilinmesi durumunda PID denetleyici parametrelerin hesaplanması için gerekli formüller Çizelge 1.6.'da verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 1.6. Wang – Juang – Chan yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralı

Denetleyici Türü	$k_p$	$T_i$	$T_d$
PID	$(0,7303 + 0,5307 \frac{T}{L})(T + 0,5L)$	$T + 0,5L$	$\frac{0,5LT}{T + 0,5L}$

### 1.1.6. ¼ Bozunma Oranlı Ayarlama Yöntemi

¼ Bozunma oranlı ayarlama yönteminde, Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols yönteminin ilk aşamasında olduğu gibi integral ve türevsel kazançlar sıfır yapılır ve oransal kazanç sıfırdan başlanarak sistemin çıkış genliğinin 1/4 oranında bozunmaya uğramasını gösterene kadar artırılır. Böylece sistem çıkışında oluşan salınımdaki ilk aşımın genliği ikinci aşımın 4 katı olur. Bunu sağlayan oransal kazanç değeri  $K_{max}$ , bu salınının periyodu da  $T_u$  olarak belirlenir. Bu değerlerden faydalanılarak Çizelge 1.7.'de verilen formüllerle  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  parametreleri hesaplanır (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 1.7. ¼ Bozunma oranlı ayarlama yöntemi ile PID parametreleri ayarlama kuralları

Denetleyici Türü	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$K_{max}$	---	---
PI	$0,45K_{max}$	$T_u/1,2$	---
PID	$K_{max}$	$T_u/1,5$	$T_u/6$

## 1.2. Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, genelde doğada yaşayan canlıların davranışlarından esinlenilerek üretilen algoritmalarlardır. Bu algoritmalar ile optimizasyonu yapılacak olan sistemin çıkışından faydalanılarak en iyi çözüm için arama yapılır. En iyi sonucu vermeyi garanti etmeyen bu algoritmaların önemli özelliği en iyiye yakın bir çözümü belli bir sürede gerçekleştirdiği denemeler sonucunda verebilmesidir. Ancak, deneme maliyeti açısından değerlendirildiğinde, gerçek sistemler için olumsuz olabilecek düzeyde maliyetli olabilmektedir.

### 1.2.1. Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm, ACO)

Karınca Kolonisi Algoritması, gerçek karınca kolonilerinin yuvaları ile yiyecek kaynakları arasındaki yollardan en kısa olanını bulma yöntemlerinden esinlenilerek, ilk

kez Marca Dorigo tarafından önerilen bir optimizasyon yöntemidir (Dikmen ve ark., 2014).

Karıncalar, doğada yiyecek ararken rastgele buldukları bir yiyecek kaynağının miktarını, kalitesini inceler ve bulduğu kaynaktan yuvasına bir miktar yiyecek taşıırken, *feromon* adı verilen bir kimyasal bırakır. Bıraktığı feromon miktarı yiyeceğin kalitesi ve miktarı hakkında diğer karıncalara bilgi verir. Bu şekilde dolaylı olarak diğer karıncaların yiyecek kaynağı ve yuva arasındaki en kısa yolu bulmalarına yardımcı olur. Karıncaların bu özelliğinden faydalanılarak optimizasyon problemlerinin çözümü için çalışmalar yapılmıştır. Karınca Kolonisi Algoritması işleyişi aşağıda verilmiştir (Dikmen ve ark., 2014):

**Adım 1:** Karıncalar oluşturularak şehirlere rastgele olarak yerleştirilir.

**Adım 2:** Her bir karınca belirtilen alfa ve beta değerlerine göre şehirleri dolaşarak rotaları oluştururlar.

**Adım 3:** Her bir karıncanın rota mesafesi hesaplanır.

**Adım 4:** Karıncaların rota mesafelerine göre yollardaki feromon değerleri artırılır.

**Adım 5:** Feromon buharlaşma değerine göre bütün yollardaki feromon değeri azaltılır.

**Adım 6:** Belirtilen nesil sayısına ulaşılan kadar veya hedef değere ulaşılan kadar **Adım 2**'ye gidilir.

### 1.2.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm, ABC)

Yapay Arı Koloni algoritması, gerçek bal arıları kolonilerinin besin kaynaklarını bulma ve seçme mekanizmalarından faydalanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde işçi, gözcü ve izci arıların hareketleri incelenir. İşçi arılar, buldukları besin kaynağından bir miktar nektar alıp kovana geri dönerler. Kovanda yaptıkları dans ile gözcü ve izci arılara, bu besin kaynağının miktarı, yeri, kalitesi, kovana uzaklığı hakkında bilgi verirler. Gözcü arılar dansı izleyerek yiyecek kaynağına gidileceğine karar verirlerse besin getirmeye giderler. İzci arılar, bulunan kaynakların dışında kaynak aramak için kovandan dışarı çıkarlar (Karaboğa ve ark., 2016; Çarbaş ve ark., 2015).

ABC algoritmasında, her besin kaynağı problemin olası çözümünü, kaynakların nektar miktarları da çözümlerin kalite değerlerini temsil eder. İşçi, gözcü, izci arı fazları ile durdurma kriteri sağlanana kadar algoritma işletilir. Yapay Arı Kolonisi algoritması aşağıda verilmiştir (Karaboğa ve ark., 2016):

**Adım 1: Başlangıç**

**Adım 2:** Başlangıç besin kaynaklarını oluştur.

**Adım 3: Tekrar et**

**Adım 4: İşçi Arı Fazı:**

**Adım 5:** İşçi arıların tamamını yeni besin kaynaklarına gönder.

**Adım 6:** Yeni kaynaklar ile önceki kaynakları karşılaştır.

**Adım 7: Gözcü Arı Fazı:**

**Adım 8:** Gözcü arıları olasılık değerlerine göre yeni kaynaklara gönder.

**Adım 9:** Yeni kaynaklar ile önceki kaynakları karşılaştır.

**Adım 10: İzci Arı Fazı:**

**Adım 11:** Tüketilen kaynak için bir izci arıyı yeni kaynağa gönder.

**Adım 12: Durdurma koşulu sağlanana kadar 3. Adım'a dön.**

### 1.2.3. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms, GA)

Genetik Algoritmalar (GA), evrim teorisine benzeyen bir mantıkla geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde, diğerlerinden farklı olarak en iyi tek çözüm yerine, birden fazla çözümün olabileceği ihtimali değerlendirilerek çözüm uzayı oluşturulur. Çözümlerin yer aldığı kümeye *nüfus* denilir ve nüfusu oluşturan elemanlar *vektör*, *kromozom* veya *birey* olarak adlandırılır. Bireyi oluşturan her varlık genlerden oluşur. Genetik algoritmada, her bireyin uygunluk fonksiyonu vardır ve her çözüm için bir değer üretir. Uygunluk fonksiyonunun değerine göre bireylere, diğer bireylerle çoğalma şansı verilir ve bu olay “çaprazlama” olarak adlandırılır. Çaprazlama sonucu yeni bireyler oluşur. *Çocuk* adı verilen yeni bireylerden uygunluk fonksiyonu düşük olan bireyler çözüm kümesinin dışında kalır. Aşağıda standart bir GA yöntemi görülmektedir (Kaya, 2017):



**Adım 1:** Başlangıç popülasyonu rasgele üretilir,

**Adım 2:** Popülasyonun bütün kromozomları için uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır,

**Adım 3:** Yeniden üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri belirlenir.

**Adım 4:** Elde edilen her bir yeni kromozom için uygunluk fonksiyonu hesaplanır.

**Adım 5:** Uygunluk fonksiyonu çıktısı düşük olan kromozomlar atılır.

**Adım 6:** Gerekliyse algoritma yinelemeli olarak çalıştırılmaya devam edilir.

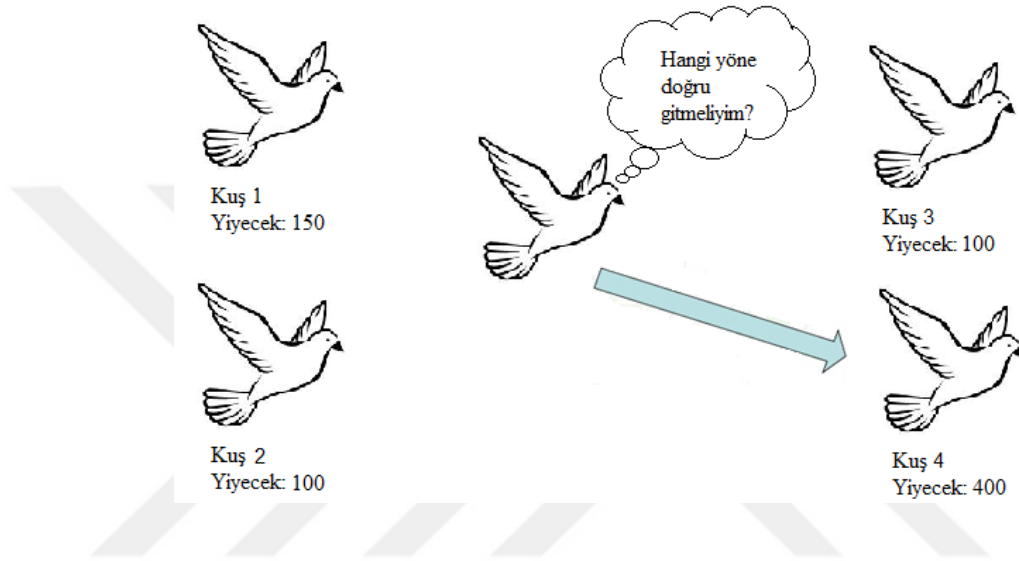
#### **1.2.4. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)**

Optimizasyon, bir problemin en iyi çözümünün belirli kısıtlamalar altında bulunması olarak tanımlanabilir. PSO, 1995 yılında James Kennedy ve Russel Eberhart tarafından ortaya atılan, doğadaki kuş veya balık sürülerinin hareketlerinden esinlenilerek geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem, kuş veya balık sürüleri gibi sürü halinde hareket eden canlıların yiyeceklerini bulmada ve yön tayinlerinde birbirleriyle kurdukları iletişimden faydalanılır. James Kennedy ve Russel Eberhart canlıların bu özelliklerini gözlemleyerek PSO yöntemini geliştirmişlerdir (Kasap, 2015; Eldem, 2014).

PSO'nun diğer optimizasyon tekniklerine göre sahip olduğu avantajları arasında diğer birçok geleneksel tekniğin tersine türevsiz bir algoritmaya sahip olması, diğer optimizasyon teknikleri ile birlikte çalışabilme esnekliğine sahip olması, ayarlanması gereken az parametreye sahip olması, kolay programlanabilmesi, sonuca ulaşabilmek için iyi bir başlangıç çözümü gerektirmemesi ve çözüme hızlı ulaşması sayılabilir. Bu gibi avantajların aksine PSO'da matematiksel bir altyapı bulunmadığı için optimum sonucu bulmanın garantisi yoktur (Alrashidi ve ark., 2007; Modares ve ark., 2010). Bu teknik, sahip olduğu birçok avantaj dolayısıyla görüntü işleme, eyleyici kontrolü, enerji sistemleri, hidrolik sistemler, kablosuz sensör ağları, hibrit elektrikli araçlar gibi endüstrideki birçok alanda kullanılmaktadır (Hajisalm ve ark., 2014; İbrahim ve ark., 2014; Ye ve ark., 2017; Gidemem ve Furat, 2017; Öziç ve ark., 2014; Azharuddin ve ark., 2016; Kaur ve ark., 2016).

Şekil 1.7.'de bir kuş sürüsünün tespit edilen yiyecek kaynaklarından yiyecek miktarının daha fazla olduğu yöne doğru eğilimleri resmedilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, sürüdeki tüm kuşlar yiyecek miktarının daha fazla olduğu optimum noktada toplanırlar. PSO'da da sürülerdeki bu mantığa benzer şekilde en iyinin etrafında toplanma

eğilimi vardır. Sürüdeki her bir canlı *parçacık* olarak ifade edilir ve parçacıklar problem uzayındaki rastgele konumlanmış çözüm adaylarıdır. Parçacıklar, kendilerinin en iyi konumları ve komşusundan yeni gönderilen konumdan faydalanarak bir sonraki konumlarına erişebilmek için bir hız oluştururlar. Bu hız değeri ile yeni konumlarına ulaşırlar. Parçacıklar, bu şekildeki konum güncellemeleri ile optimum konum olan tek bir noktaya ulaşmaya çalışırlar (Kasap, 2015; Gidemem ve Furat, 2017).



Şekil 1.7. PSO yöntemi ile en iyiye ulaşma

PSO’da başlangıçta çözüm adaylarının olduğu bir küme oluşturulur (Furat ve Gidemem, 2016). Eşitlik 1.4 PID optimizasyonu için başlangıçta seçilen  $n$  tane aday çözümü temsil etmektedir. Bu kümedeki her bir çözüm adayının değerlendirilmesi için çeşitli uygunluk fonksiyonlarından (fitness function) faydalanılır. Uygunluk fonksiyonlarından elde edilen değerlere göre en iyi çözüm seçilir.

$$k = \begin{bmatrix} k_{p1} & \dots & k_{pn} \\ k_{i1} & \dots & k_{in} \\ k_{d1} & \dots & k_{dn} \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

PSO yönteminde, sürüdeki her parçacığın probleme ayrı ayrı uygulanmasıyla, döngü sonunda en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacık yerel en iyi ( $p_{best}$ ), yerel en

iyi parçacık değerleri arasındaki en iyi olarak da küresel en iyi ( $g_{best}$ ) değerleri bulunur (Diep ve ark., 2014; Ibrahim ve ark., 2014; Al-Mayyahi ve ark., 2015). Bulunan  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerleri aşağıda Eşitlik 1.5'te verilen hızlandırıcı ve Eşitlik 1.6'da verilen konum fonksiyonlarına uygulanarak yeni hız ve konum değerleri bulunur (Eldem, 2014; Gidemen ve Furat, 2017).

$$v(i+1) = wv(i) + c_1 R_1 \left( x_{k_p, k_i, kd}^j(p_{best}) - x^j(i) \right) + c_2 R_2 \left( x_{k_p, k_i, kd}(g_{best}) - x^j(i) \right) \quad (1.5)$$

$$x_{k_p, k_i, kd}^j(i+1) = x_{k_p, k_i, kd}^j(i) + v(i+1) \quad (1.6)$$

Burada;

$w$  : eylemsizlik momentini,

$c_1, c_2$ : hızlandırma sabitlerini,

$R_1, R_2$ : 0 ile 1 arasından seçilen rastgele sayılardan oluşan matrisleri,

$i$ : döngü numarasını,

$j$ : parçacığın sürü içindeki sıra numarasını,

$x$ : parçacık konum değerini,

$x_{k_p, k_i, kd}^j(p_{best})$ : döngüdeki  $j$ . parçacığın yerel en iyi değerini,

$x_{k_p, k_i, kd}(g_{best})$ : yerel en iyiler arasından seçilen küresel en iyi parçacığı,

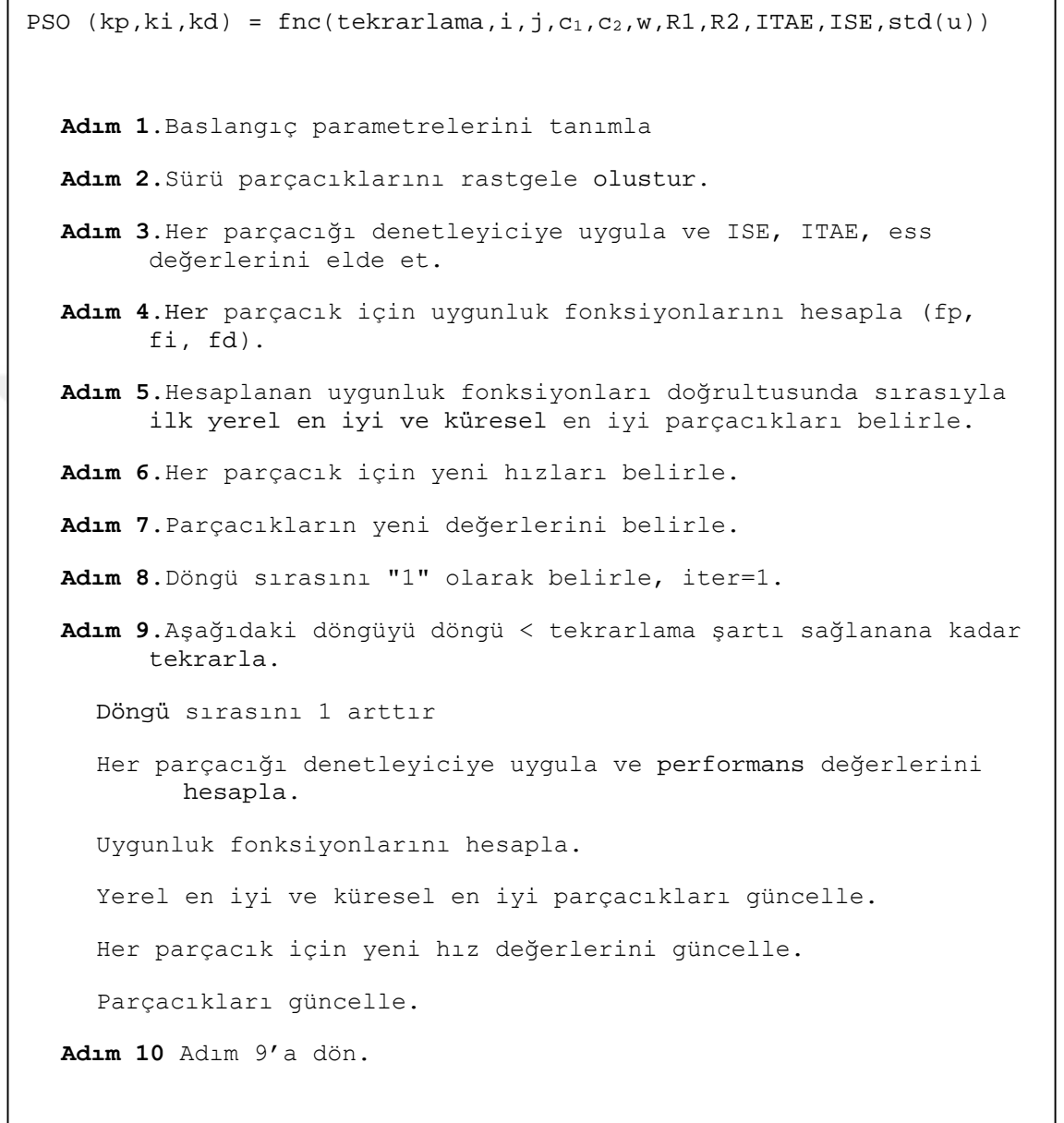
$v(i)$ :  $i$ . parçacık için hız değerini temsil eder (Furat ve Gidemen, 2016; Gidemen ve Furat, 2017; Zhan ve ark., 2011).

Hızlandırma sabitleri  $c_1$  ve  $c_2$  literatürde yer alan çalışmalarda genel olarak sabit alındığı gibi, bazı çalışmalarda da zamana bağlı fonksiyonlar olarak seçilmiştir (Nangru ve ark., 2013; Khanduja ve ark., 2016; Kaur ve ark., 2016; Diep ve ark., 2014; Mu ve ark., 2014; Ahmadi ve ark., 2017; Singh ve ark., 2014).

Eylemsizlik momenti  $w$ , literatürde genel olarak sabit olarak seçilmişken, bazı çalışmalarda ise dinamik olarak değişmektedir (Calvini ve ark., 2015; Ahmadi ve ark., 2017; Singh ve ark., 2014; Diep ve ark., 2014; Ibrahim ve ark., 2014; Kaur ve ark., 2016).

Her döngü sonunda yerel en iyi ( $p_{best}$ ) ve küresel en iyi ( $g_{best}$ ) değerleri tekrar belirlenir ve bu değerlerle birlikte hız ve parçacık değerleri de güncellenir. Bu şekilde

optimum çözüm aramaya devam edilir. Şekil 1.8.'te geleneksel PSO algoritması görülmektedir (Gidemen ve Furat, 2017).



Şekil 1.8. Geleneksel PSO Algoritması

### 1.3. Bu Çalışmada Yapılan Katkılar

Kontrolcü gerektiren gerçek sistemlerdeki birçok eyleyicide PID kontrolcünün tercih edilmesi nedeniyle bu çalışmada PID parametrelerinin hızlı ve en iyi şekilde optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Bu çerçevede yapılan çalışma sonucu literatüre aşağıdaki katkılar yapılmıştır:

- Gerçek sistemlerde kullanılan eyleyicilerin birçoğunun ikinci derece modellenemesinden yola çıkılarak, çıkış eğrisine bağlı PID optimizasyon yöntemlerinin 2. derece bir sistem modeli kullanarak performanslarının ortaya konulması (Gidemen ve Furat, 2015),
- PSO ile yapılacak PID optimizasyonunda, literatürde kullanılan uygunluk fonksiyonlarının performanslarının hız ve optimum değeri bulma yetenekleri açısından değerlendirilmesi (Furat ve Gidemen, 2016),
- Geleneksel PSO algoritmasının temeli olan ve başta belirlenen parçacıklar arasındaki en iyi parçacığın etrafında çözüm aramak yerine bunların dışında bir parçacığın mevcut en iyi parçacıktan daha iyi olma olasılığının değerlendirilip bu amaç çerçevesinde geleneksel PSO algoritmasına yenilik getirilmesi (Gidemen ve Furat, 2017),
- Önceki maddede bahsedilen yeni parçacığın seçiminde PID parametrelerinin uygulanan sistem çıkışına olan fiziksel etkilerinden faydalanılarak her döngü sonunda yeni parçacığın belirlenmesi için başta belirlenen sınırların en kötü parçacığa bağlı olarak güncellenmesi ve bu yolla daha kısa sürede optimum sonuca ulaşılması.

Yukarıda sayılan amaçlar doğrultusunda 2. derece gürültülü bir sistem modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Modelin çıkışına eklenen gürültü ile sistemin gerçekçiliği artırılmış ancak PID denetleyicinin türev teriminin kullanılmasında sakınca yaratmayacak düzeyde ayarlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, geleneksel PSO algoritmasına göre çok daha hızlı ve daha iyi optimizasyon yapan yöntemler gerçekleştirilmiştir.

#### 1.4. Tezin Ana Hatları

Bu çalışmada, PID denetleyici parametrelerinin ayarlanması kullanılacak daha hızlı ve daha iyi sonuç veren bir PSO yöntemleri araştırılmıştır. Geleneksel PSO yöntemiyle birlikte, geliştirilen PSO yöntemleri aynı elektromekanik sistem modeli üzerinde çalıştırılarak optimum PID parametreleri aramadaki yetenekleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2’de Materyal ve Yöntem yer almaktadır. Materyal kısmında öncelikle çalışmayı gerçekleştirmek için kullanılan sistem modeli ve benzetimlerin gerçekleştirildiği bilgisayar tanıtılmıştır. Yöntem başlığı altında, öncelikle geleneksel PSO algoritmasının PID optimizasyonu için kullanıldığında seçilen uygunluk fonksiyonlarının incelenmesi ve ardından geliştirilen yöntemler olan Yenilenen Parçacıklı PSO (YP - PSO) ve Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO (SYP - PSO) yöntemleri anlatılmıştır.

Bölüm 3’te Deneysel Çalışma yer almaktadır. Bu bölümünde, öncelikle yapılan ön çalışmalar anlatılmıştır. Burada PSO yöntemleri için kullanılacak başlangıç parametrelerini belirleyebilmek amacıyla çıkış grafiğine bağlı PID optimizasyon teknikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre seçim yapılmıştır. Buna ek olarak, PSO yönteminde parçacıkların değerlendirilmesini sağlayan uygunluk fonksiyonları incelenmiş ve her PID parametresi için buna göre uygunluk fonksiyonu seçimi yapılmıştır. Kullanılacak parametre ve uygunluk fonksiyonlarının belirlenmesi işlemi tamamlandıktan sonra, bu bölümün ikinci kısmında geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin performansları uygunluk fonksiyonunun değişimi, kontrol sinyali ve çıkış kalitesi istatistiksel ve grafiksel olarak verilmiştir.

Son bölümde, elde edilen sonuçlar doğrultusunda ele alınan yöntemlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, literatürde yer alan gerçek bir elektromekanik sistemin modelinden faydalanılmıştır. Bu elektromekanik sistem, milin iki ucuna bağlı bir DC motor, bir takojeneratör ve mil üzerine monte edilmiş yük olarak değerlendirilebilecek birçok sensörden oluşmaktadır. DC motorun çalışma gerilimi 0-12V arasında olup takojeneratör ise milin dönme hızıyla doğru orantılı olarak gerilim üretmektedir. Takojeneratörden elde edilen gerilim, DC motorun mil hızı ile doğru orantılı olarak artmakta olduğundan bu gerilim negatif geri beslemeli PID için hata sinyalinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

DC motorun modellenmesi için motorun basamak cevabı alınmış, çıkış eğrisinden faydalanılarak Eşitlik 2.1.'de verilen 2. derece transfer fonksiyonu elde edilmiştir (Furat ve Eker, 2012).

$$G(s) \cong \frac{K e^{-t_d s}}{\tau_p s + 1} \cong \frac{K}{(\tau_p s + 1)(t_d s + 1)} \quad (2.1)$$

Burada;  $K$  çıkışın girişe oranını yani kazancı,  $t_d$  zaman gecikmesini,  $\tau_p$  sistemin zaman sabitini temsil etmektedir ve sistemin giriş – çıkış grafiklerinden faydalanılarak  $K = 0,86$ ,  $\tau_p = 0,145$ ,  $t_d = 0,0035$  olarak bulunmuştur. Bu değerler Eşitlik 2.1.'de yerine konulduğunda elektromekanik sistemin transfer fonksiyonu Eşitlik 2.2.'deki gibi elde edilir (Furat ve Eker, 2012):

$$G(s) \cong \frac{1694,6}{s^2 + 292,6s + 1970} \quad (2.2)$$

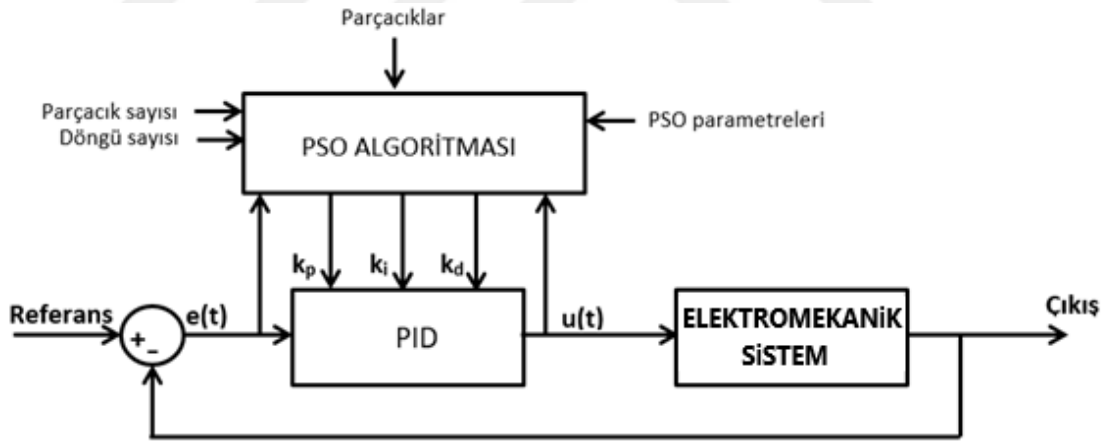
Elde edilen model, bir benzetim yazılımı ile kullanılmış olup, yazılımın kurulu olduğu bilgisayarın teknik özellikleri olarak 6 GB RAM, 64 bit işletim sistemi, Intel (R) Core (TM) i7-2630QM CPU @ 2,00 GHz işlemci ve 600GB sabit disk sayılabilir.

## 2.2. Yöntem

PID denetleyici parametrelerinin ayarlanması için kullanılan sezgisel algoritmalarından biri olan geleneksel PSO'daki yaklaşım;

- Başlangıç parametrelerinin tanımlanıp, belirlenen sınırlar içinden parçacıklarının rastgele oluşturulması,
- Her parçacığın denetleyiciye uygulanıp uygunluk fonksiyonlarının hesaplanması ve hesaplanan değerlerle ilk yerel en iyi ve ilk küresel en iyi değerlerinin belirlenmesi,
- Parçacıkların yeni hızlarının ve yeni değerlerinin belirlenmesi, döngünün belirlenen sayı kadar tekrarlanması şeklindedir (Gidemen ve Furat, 2017).

Şekil 2.1.'de PSO ile PID denetleyicinin blok diyagramı görülmektedir (Gidemen ve Furat, 2017).



Şekil 2.1. PSO ile PID Denetleyicinin Blok Diyagramı

Geleneksel PSO'da her zaman döngüdeki en iyi parçacık yönünde yoğunlaşılır (Gidemen ve Furat, 2017). Böyle bir yaklaşım, algoritmayı döngüdeki parçacıklardan daha iyi uygunluk değerine sahip olma ihtimali olan başka parçacıklardan uzaklaştırır. Bu çerçevede, geleneksel PSO'ya bir yenilik katmak ve mevcut performansını artırmak amacıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir:



- Literatürde kullanılan uygunluk fonksiyonları geleneksel PSO ile PID parametrelerinin optimizasyonunda kullanılarak en iyi değeri bulma performansı ile bu değere ulaşma hızları deneysel model üzerinde test edilmiştir.
- İlk aşamada seçilen aday parametrelerden daha iyisinin belirlenen aralıkta bulunma ihtimali göz önüne alınarak, algoritmanın her döngüsünde en kötü uygunluk değerini veren aday yeni bir aday ile değiştirilerek algoritma sürdürülmüştür.
- PID denetleyicinin fiziksel etkilerinden yola çıkılarak, yeni adayın belirleneceği sınırlar her döngü sonunda en kötü parçacığın sonucuna göre güncellenmiştir. Böylece, daraltılan sınırlar içinde daha iyi sonuç veren adayın bulunması ihtimali artırılmıştır.

### 2.2.1. Uygunluk Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi

Literatürde genel olarak parçacıkların değerlendirilmesini sağlayan çeşitli uygunluk fonksiyonları kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar arasında kontrol algoritmalarının performansını ölçmekte kullanılan kriterler yer almaktadır. (Ibrahim ve ark., 2014; Sahib ve ark., 2016; Nangru ve ark., 2013; Khanduja ve ark., 2016; Mu ve ark., 2014; Al-Mayyahi ve ark., 2015; Pano ve ark., 2014; Wai ve ark., 2011; Calvini ve ark., 2015). Bunlardan IAE, ISE, ITAE, ITSE, MSE' nin birbirlerine göre üstünlükleri Furat ve Gidemen (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ortaya konulmuştur.

Aşağıdaki eşitliklerde verilen hataya bağlı performans kriterleri, PID denetleyicilerde genel olarak kullanılan uygunluk fonksiyonlarıdır (Furat ve Gidemen, 2016). Eşitlik 2.3 ve 2.4'de verilen ISE ve IAE, formüllerden anlaşılacağı üzere, uygunluk fonksiyonu üzerinde hataların zamanla eşit ağırlıkta toplanmasına dayanır (Furat ve Gidemen, 2016; Eldem, 2014).

$$\text{Integral of Absolute Error} \quad IAE = \int_0^t |e(\tau)| d\tau \quad (2.3)$$

$$\text{Integral of Squared Error} \quad ISE = \int_0^t e^2(\tau) d\tau \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.5 ve 2.6’da verilen ITAE ve ITSE’ de ise zamanla hatanın ağırlığı artar, bundan dolayı hataların zamanla eşit ağırlıkta toplandığı ISE ve IAE’ ye göre uygunluk fonksiyonundaki etkilerinin daha fazla olması beklenir (Furat ve Gidemem, 2016).

$$\text{Integral of Time Weighted Absolute Error} \quad ITAE = \int_0^t |e(\tau)| d\tau \quad (2.5)$$

$$\text{Integral of Time Weighted Squared Error} \quad ITSE = \int_0^t te^2(\tau) d\tau \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.7’de, belli bir örnekleme zamanı aralığı ile ölçülen hatanın karelerinin toplamının alınan örnek sayısına bölünmesiyle elde edilen MSE verilmiştir (Furat ve Gidemem, 2016).

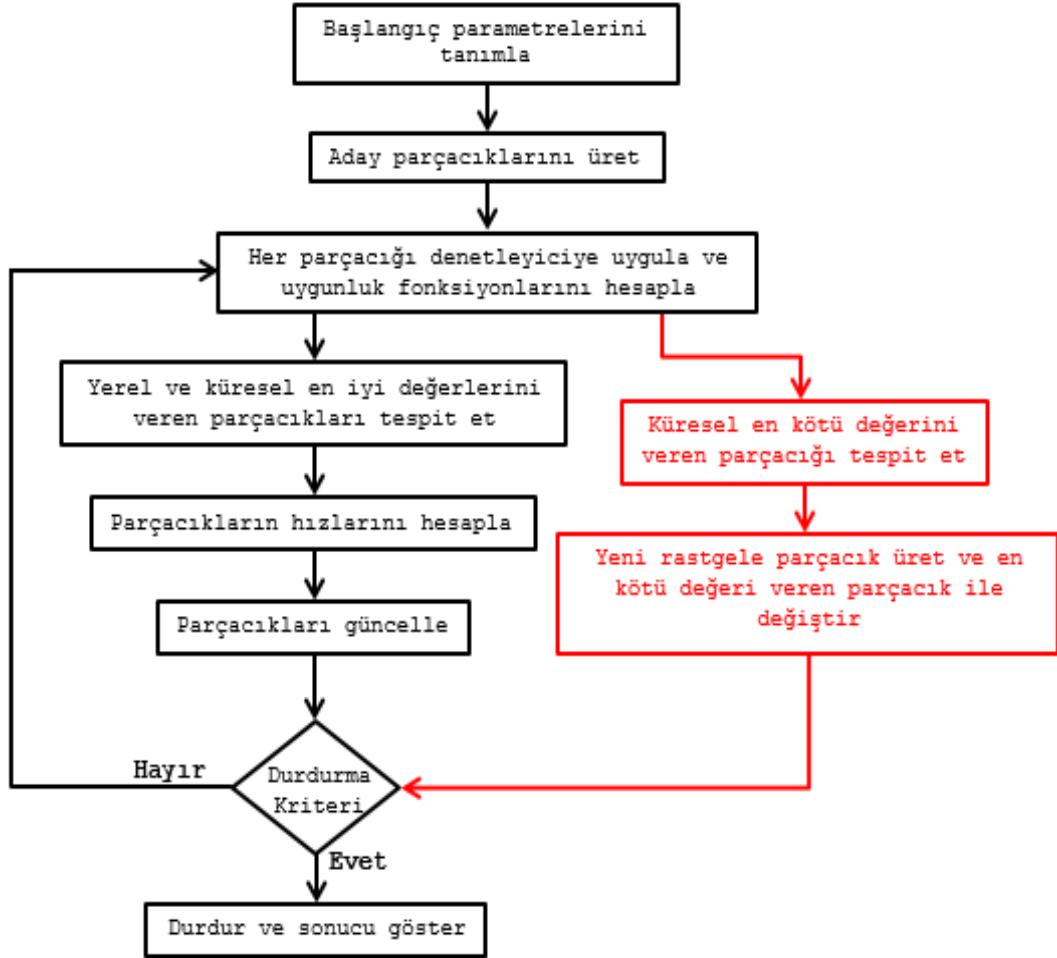
$$\text{Mean Squared Error} \quad MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^2(k) \quad (2.7)$$

Literatürde yaygın olarak kullanılan bu uygunluk fonksiyonları, hata genliğine bağlıdır ve PSO gibi sezgisel algoritmalarda kullanıldığında en iyi uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olandır. Dolayısıyla, mümkün olduğu kadar küçük uygunluk fonksiyonu değerini veren parametreler aranır.

### 2.2.2. Yenilenen Parçacıklı PSO (YP – PSO) Algoritması

Yenilenen Parçacıklı PSO’da, geleneksel yöntemdekinin aksine sadece en iyi uygunluk değerine sahip parçacık üzerinde yoğunlaşmamıştır. Ayrıca, her döngüde bulunan en kötü uygunluk değerine sahip parçacığın da tespiti yapıp bu parçacık yerine aynı aralıkta rastgele üretilen başka bir parçacık atanır. Burada amaç, döngüdeki en iyi parçacıktan daha iyi uygunluk değerine sahip olan başka bir parçacığın var olma ihtimalini değerlendirmektir.

Şekil 2.2.'de geleneksel PSO algoritması ve önerilen Yenilenen Parçacıklı PSO algoritmasını gösteren akış diyagramı bulunmaktadır. Burada kırmızı olarak çizilen kısım geleneksel algoritmaya eklenen yeniliği göstermektedir (Gidemen ve Furat, 2017).



Şekil 2.2. Geleneksel PSO algoritması ve önerilen PSO algoritması

Geleneksel PSO için önerilen yenilikte, PID parametrelerinin her biri için ayrı uygunluk fonksiyonu tanımlanarak, en kötü değeri veren parçacık başta belirlenen aralık içinden rasgele seçilen başka bir parçacıkla değiştirilerek arama algoritması sürdürülür.

### 2.2.3. Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO (SYP – PSO) Algoritması

Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO’da, YP – PSO’ya ek olarak en kötü uygunluk değerine sahip parçacığın yerine, sistem çıkışında meydana gelebilecek aşımı

engellemek amacıyla aynı sınırlar içinde atanan rastgele değere bir sınırlandırma getirilmiştir. Bu amaçla önerilen algoritma Şekil 2.3.'te verilmiştir:

SYP-PSO( $k_p, k_i, k_d$ )=fnc(tekrarlama,  $i, j, c_1, c_2, w, R1, R2, ITAE, ISE, std(u)$ )

**Adım 1.** Başlangıç parametrelerini tanımla

**Adım 2.** Sürü parçacıklarını rastgele oluştur.

**Adım 3.** Her parçacığı denetleyiciye uygula ve ISE, ITAE, ess değerlerini elde et.

**Adım 4.** Her parçacık için uygunluk fonksiyonlarını hesapla ( $f_p, f_i, f_d$ ).

**Adım 5.** Hesaplanan uygunluk fonksiyonları doğrultusunda sırasıyla ilk yerel en iyi ve küresel en iyi parçacıkları belirle.

**Adım 6.** Küresel en kötü uygunluk fonksiyonu değerini veren parçacığı belirle.

**Adım 7.** En kötü değere sahip parçacık yerine, belirlenen yeni sınırlar içinde rastgele parçacık ata.

**Adım 8.** Her parçacık için yeni hızları belirle.

**Adım 9.** Parçacıkların yeni değerlerini belirle.

**Adım 10.** Döngü sırasını "1" olarak belirle, iter=1.

**Adım 11.** Aşağıdaki döngüyü, döngü < tekrarlama şartı sağlanana kadar tekrarla.

Döngü sırasını 1 arttır

Her parçacığı denetleyiciye uygula ve ISE, ITAE, ess değerlerini hesapla.

Uygunluk fonksiyonlarını hesapla.

Küresel en kötü uygunluk fonksiyonu değerini veren parçacığı belirle.

En kötü değere sahip parçacık yerine, belirlenen yeni sınırlar içinden rastgele parçacık ata.

Yerel en iyi ve küresel en iyi parçacıkları güncelle.

Her parçacık için yeni hız değerlerini güncelle.

Parçacıkları güncelle.

**Adım 12.** Adım 9'a dön.

Şekil 2.3. Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO Algoritması

Bu algoritmada kırmızı ile gösterilen satırlar yapılan yeniliği temsil etmektedir. Burada yapılan yenilik, en kötü değeri veren adaya göre yeni seçilecek olan aday için seçim sınırlarının güncellenmesidir. Böylece, en kötü sonucu verecek yeni bir aday seçme ihtimali ortadan kaldırılmıştır.



### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Ön Çalışma

Bu bölümde, PSO yöntemi ile PID denetleyici parametrelerinin ayarlanması için yapılan ön çalışmalar anlatılmıştır. İlk olarak PSO’da kullanılacak başlangıç parametrelerinin sınırlarının belirlenmesi amacı ile çıkış grafiğine bağlı PID optimizasyon yöntemleri incelenmiş, karşılaştırmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Başlangıç parametreleri belirlendikten sonra, her parçacığın değerlendirilmesini sağlayan, literatürde yoğun olarak kullanılan uygunluk fonksiyonları geleneksel PSO ile incelenmiş ve her bir parametre üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Deneylerde, açık çevrim cevabı için sisteme verilen giriş  $u(t) = 5,21V$  olup, bu durumda sistemin sürekli hal çıkışı  $y_{ss} = 4,48V$ . Buradan elde edilen sonuçlar doğrultusunda deneylerde, kapalı çevrim referans değeri  $r(t) = 4,48V$  olarak uygulanmıştır (Gidemen ve Furat, 2015).

##### 3.1.1. PID Parametreleri Ayarlama Yöntemlerinin İncelenmesi

Açık Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi’nde yapılan deney sonucu sistem çıkış eğrisinde;  $L = 0,06$  ve  $T = 0,16$  olarak bulunmuş, bu değerler Çizelge 1.1.’de yerine konulduğunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1.’de verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015):

Çizelge 3.1. Açık Çevrim Ziegler-Nichols Ayarlama Yöntemi için başarımların değerlendirmeleri

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	11,5	14	6,8	0,18	0,070
PI	10,5	41	6,7	0	1,290
PID	8,9	41	6,3	0	1,444

Kapalı Çevrim Ziegler – Nichols Yöntemi’nde yapılan deney sonucu sistem çıkış eğrisinde;  $K_u = 196,501$  ve  $P_u = 0,09s$  olarak bulunmuş, bu değerler Çizelge 1.2.’de yerine konulduğunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2.’de verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 3.2. Kapalı Çevrim Ziegler-Nichols Ayarlama Yöntemi için başarımların değerlendirmeleri

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	6,0	26	4,0	0,06	1,320
PI	5,7	25	3,1	0	1,450
PID	17,8	100	8,0	0	0,670

Cohen – Coon Ayarlama Yöntemi’nde yapılan deney sonucu sistem çıkış eğrisi ile  $t_1 = 0,052s$ ;  $t_2 = 0,149s$ ;  $\xi_m = 0,145$ ;  $d = 0,04$ ;  $K_m = 0,86$  olarak hesaplanmış, bu değerler Çizelge 1.3.’te yerine konulduğunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3.’te verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015):

Çizelge 3.3. Cohen – Coon Ayarlama Yöntemi için başarımların değerlendirmeleri

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	7,0	-	6,0	0,13	0,570
PI	8,1	-	5,4	0,13	0,494
PD	7,9	17,0	5,2	0,10	0,372
PID	6,4	24,8	4,2	0	1,695

Chien – Hrones – Reswick Ayarlama Yöntemi’nde sistem çıkışının girişine oranı K, L ve T değerleri bilindiğinden, bu değerler Çizelge 1.4.’te yerine konulduğunda elde edilen başarımlar Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.’de, referans regülasyonu için; Çizelge 1.5.’te yerine konulduğunda ise elde edilen başarımlar Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7.’ de verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015):

Çizelge 3.4. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Referans regülasyonu için %0 aşım)

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	-	-	14,9	0,50	-
PI	45,5	-	13,3	0,38	-
PID	27,8	-	9,8	0,25	-

Çizelge 3.5. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Referans regülasyonu için %20 aşım)

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	13,5	-	8,0	0,23	-
PI	17,0	-	8,5	0,26	-
PID	16,5	-	7,7	0,16	-

Çizelge 3.6. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Bozucu etkiyi durduran, %0 aşım)

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	-	-	14,9	0,50	-
PI	16,8	-	8,5	0,26	-
PID	16	-	8,0	0,17	-

Çizelge 3.7. Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri (Bozucu etkiyi durduran, %20 aşım)

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	13,5	-	8	0,23	-
PI	13,5	-	8	0,23	-
PID	12,6	18	7	0,13	-



Wang – Juang – Chan Ayarlama Yöntemi’nde, L ve T değerleri bilindiğinden, bu değerlerin Çizelge 1.6.’da yerine konulmasıyla elde edilen parametreler Çizelge 3.8.’de verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015).

Çizelge 3.8. Wang – Juang – Chan Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
PID	10,25	15,65	0,0149	0,50	-

$\frac{1}{4}$  Bozunma Oranlı Ayarlama Yöntemi’nde yapılan deney sonucu sistem çıkış eğrisinde;  $K_{max} = 190$  ve  $T_u = 0,075s$  olarak bulunmuş, bu değerler Çizelge 1.7.’de yerine konulduğunda elde edilen parametreler Çizelge 3.9.’da verilmiştir (Gidemen ve Furat, 2015):

Çizelge 3.9.  $\frac{1}{4}$  Bozunma Oranlı Ayarlama Yöntemi için başarımlar değerlendirilmeleri

Denetleyici türü	Yükselme zamanı (ms)	Yerleşme zamanı (ms)	Gecikme Zamanı (ms)	Sürekli hal hatası (Volt)	Aşım (Volt)
P	15,0	165	14	0,02	2,220
PI	6,6	26	3,5	0,06	1,293
PID	30,0	40	9,7	0,02	-

Yukarıda elde edilen sonuçlar neticesinde, Açık Çevrim Ziegler – Nichols yöntemi ile elde edilen PID parametreleri parçacık seçimi için sınırların belirlenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmalarda, yöntemlerin performansının daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla, farklı sayılarda oluşturulan aynı parçacık kümeleri kullanılmıştır.

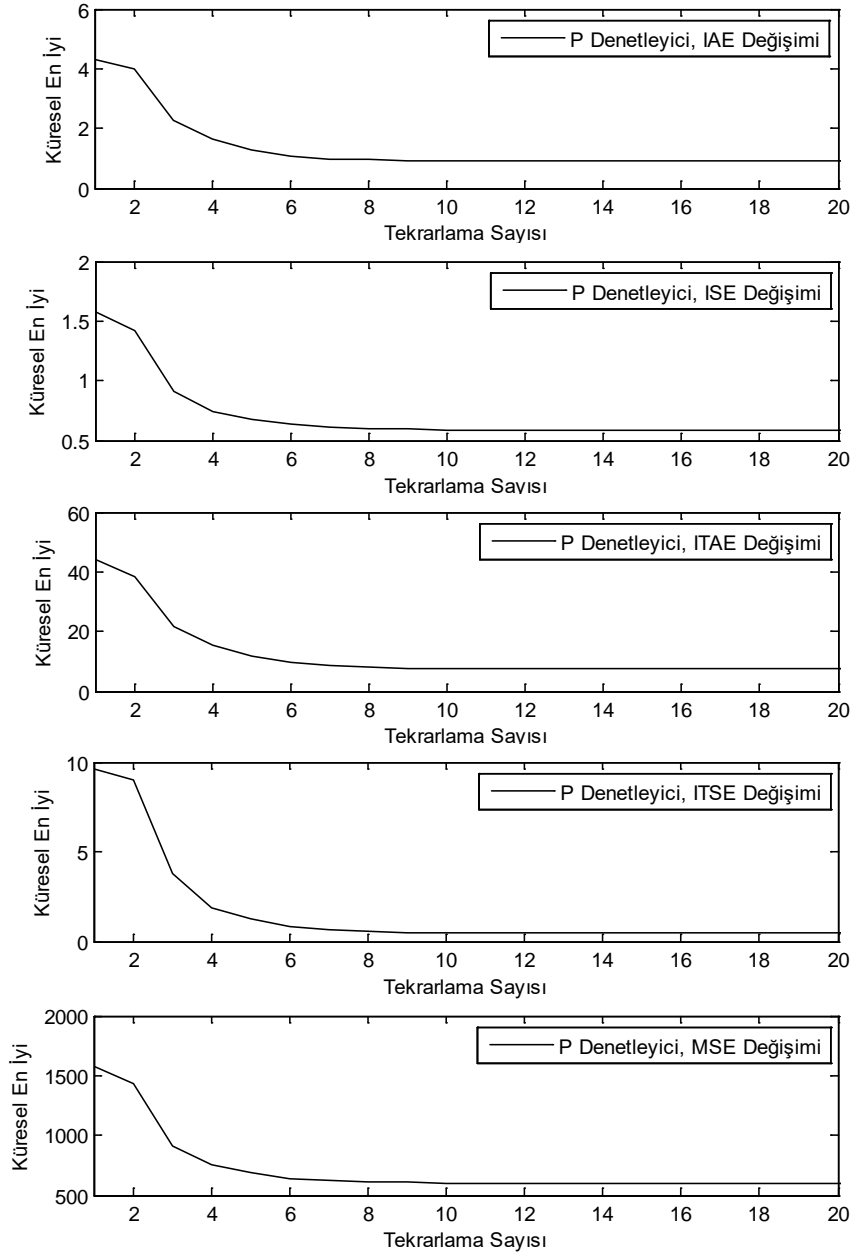
### 3.1.2. Uygunluk Fonksiyonu Seçimi

Referans değeri ve özellikleri belirtilen sistemin kontrolü için P, PI ve PID denetleyicide, literatürde yaygın olarak kullanılan uygunluk fonksiyonlarının performans karşılaştırmasının yapıldığı deneyler ve sonuçları aşağıda yer almaktadır. Yapılan tüm

deneylerde kullanılan geleneksel PSO algoritmasının parametreleri  $c_1 = 0,12$ ,  $c_2 = 1,2$ ,  $w = 0,9$ ,  $R_1, R_2 \in (0,1)$ , parçacık sayısı  $n = 20$  ve tekrarlama sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Deneylerin süresi 20s seçilmiş olup, deneyler 1ms örnekleme zamanı ile gerçekleştirilmiştir (Furat ve Gidemem, 2016).

P denetleyici için literatürde yaygın olarak kullanılan IAE, ISE, ITAE, ITSE ve MSE uygunluk fonksiyonları ayrı ayrı kullanıldığında küresel en iyiye ulaşma hızının incelendiği deney sonuçları Şekil 3.1.'de verilmiştir (Furat ve Gidemem, 2016). Şekil 3.1.'den anlaşıldığı üzere, her uygunluk fonksiyonu için P denetleyicide benzer tepkiler alınmış ve denetleyici yaklaşık 8. denemede en iyi değerine ulaşmıştır (Furat ve Gidemem, 2016).

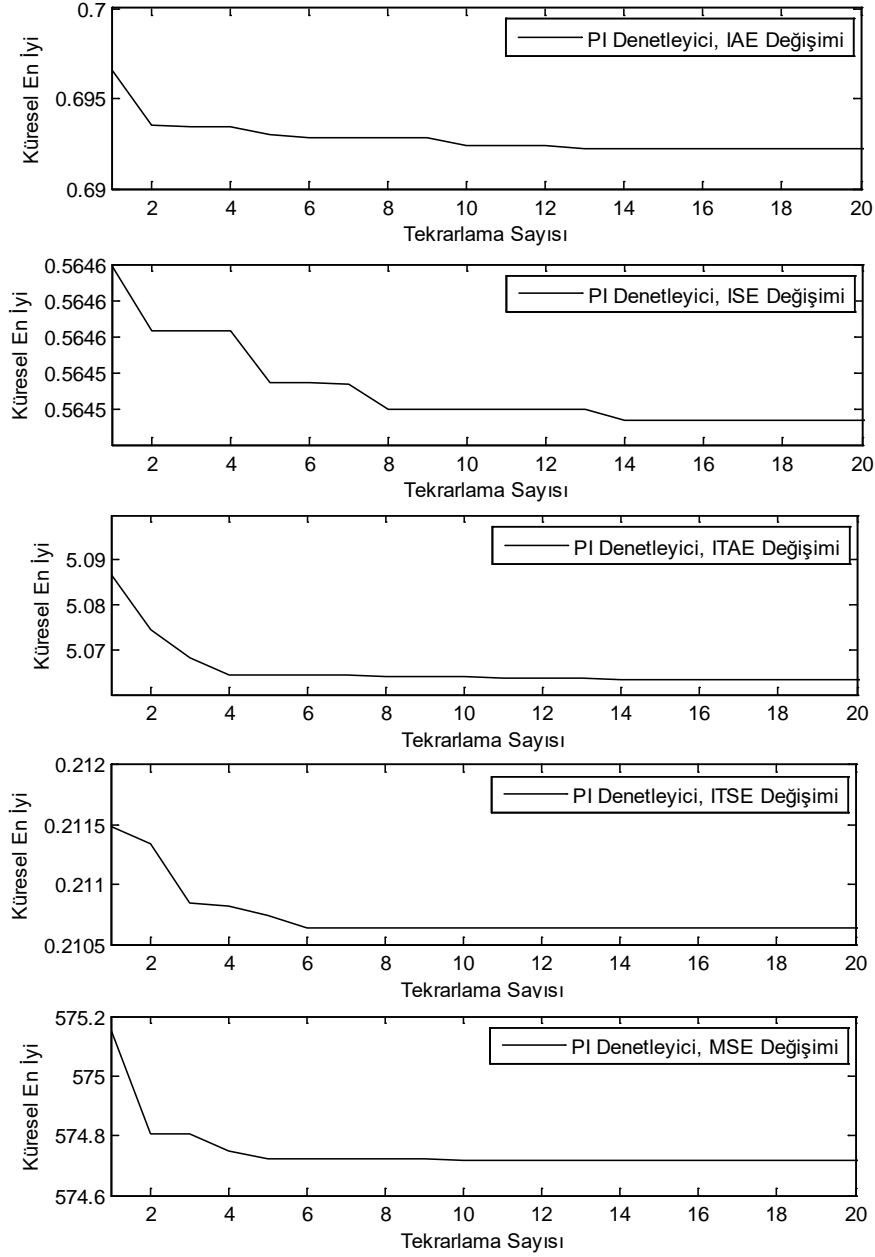




Şekil 3.1. P denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları

PI denetleyici için literatürde yaygın olarak kullanılan IAE, ISE, ITAE, ITSE ve MSE uygunluk fonksiyonları ayrı ayrı kullanıldığında küresel en iyiye ulaşma hızının incelendiği deney sonuçları Şekil 3.2.'de verilmiştir (Furat ve Gidemem, 2016). Şekil 3.2.'den anlaşıldığı üzere, PI denetleyici için ITAE, ITSE ve MSE uygunluk

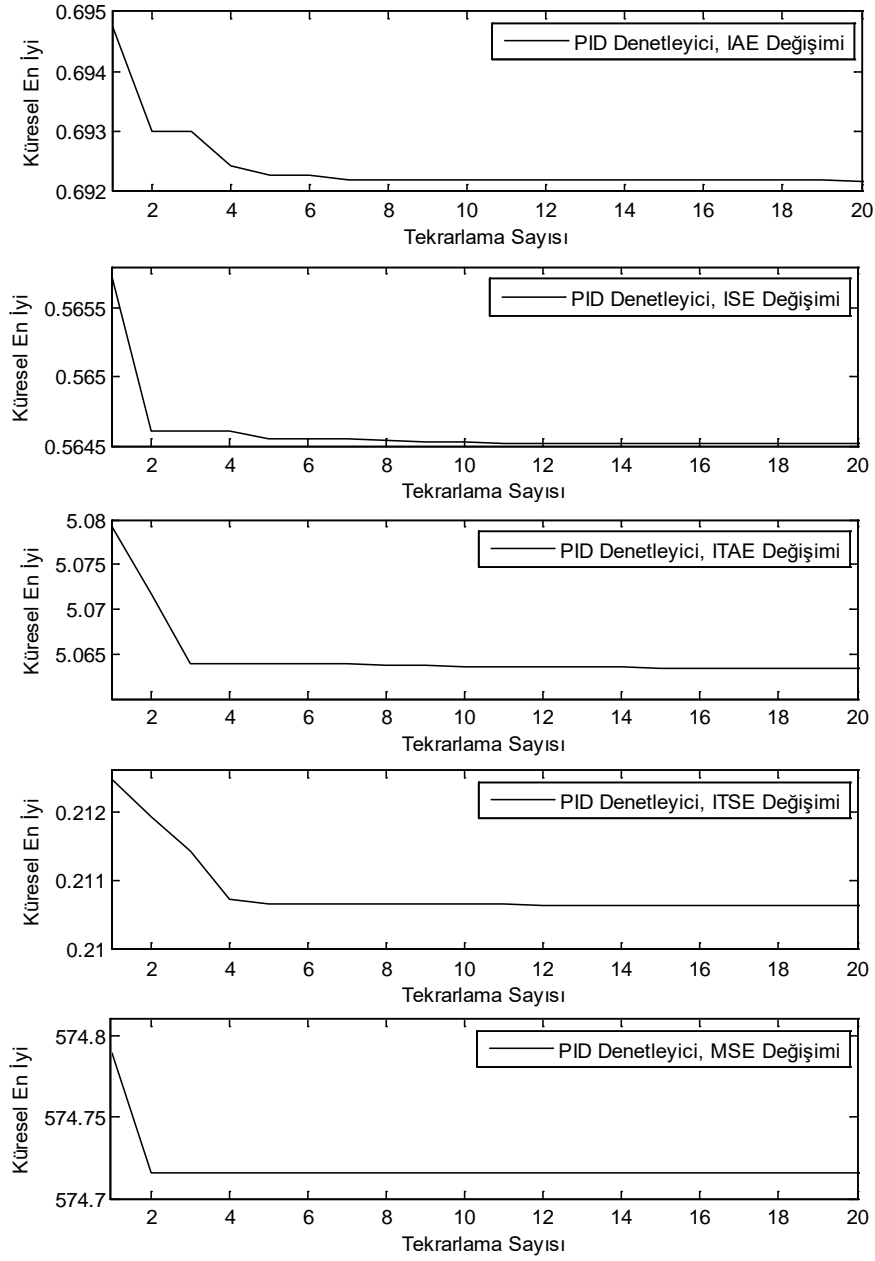
fonksiyonlarının diğerlerine göre en iyiye ulaşma hızları daha yüksek olmuştur (Furat ve Gidemem, 2016).



Şekil 3.2. PI denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları

PID denetleyicinin literatürde yaygın olarak kullanılan IAE, ISE, ITAE, ITSE ve MSE uygunluk fonksiyonları ayrı ayrı kullanıldığında küresel en iyiye ulaşma hızını

inceleyen deneyin sonuçları Şekil 3.3.'de verilmiştir (Furat ve Gidemem, 2016). PID denetleyicide küresel en iyiye ulaşma hızı en yüksek olan uygunluk fonksiyonu MSE'dir. Bunun yanı sıra ITAE ve ITSE'de de tepki hızlıdır.



Şekil 3.3. PID denetleyici için farklı uygunluk fonksiyonlarında küresel en iyiye ulaşma hızları

P, PI ve PID denetleyici için yapılan deneyler doğrultusunda en iyiye ulaşma performansı bakımından ISE, ITAE, ITSE ve MSE uygunluk fonksiyonlarının daha hızlı olduğu tespit edilmiştir (Furat ve Gidemen, 2016).

Yapılan çalışmada, en iyi performans gösteren bu uygunluk fonksiyonlarının  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  katsayılarının karakteristikleri de göz önüne alınarak etkileri belirlenmiştir. Buna göre,  $k_p$  için ISE,  $k_i$  için ITAE uygunluk fonksiyonları ve  $k_d$  için standart sapma kullanılması uygun bulunmuştur (Furat ve Gidemen, 2016).

Hem negatif hem de pozitif hataların olduğu çıkış eğrisindeki osilasyonun sebebi, yüksek  $k_p$  kazancı olduğundan, bu tip bir çıkış veren kazancın tespiti amacıyla ISE kriteri  $k_p$  için uygunluk fonksiyonu olarak seçilmiştir. Diğer yandan, integral terimin çıkışa olan en büyük katkısı sürekli hal hatasını gidermek olduğundan, zamana göre katkısı artan özellikli kriter olan ITAE ile sürekli hal hatasının genliği birlikte kullanılarak integral terimin uygunluk fonksiyonu belirlenmiştir. Bununla beraber, türevsel terimin gerçek sistemlerdeki gürültü nedeniyle kontrol sinyalinde oluşturduğu aşırı genlikli osilasyonun daha iyi tespit edilmesi amacıyla, bu terimin en uygun değerinin belirlenmesinde kontrol sinyalinin sapma miktarını gösteren standart sapma fonksiyonu kullanılmıştır.

### 3.2. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yapılan deneylerde giriş referans değeri  $8V$ ,  $c_1 = 0,12$ ,  $c_2 = 1,2$ ,  $w = 0,9$ ,  $R_1, R_2 \in (0,1)$ , tekrarlama sayısı 40 olarak belirlenmiş, parçacık sayısı  $n$ , sırasıyla 20, 10 ve 5 olarak atanıp ayrı ayrı sonuçları değerlendirilmiştir.

Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla Açık Çevrim Ziegler – Nichols yöntemi kullanılarak elde edilen değerler ışığında  $k_p$  için 0-50;  $k_i$  için 0-35;  $k_d$  için 0-0,02 sınırları içinden başlangıç çözüm kümesi rastgele seçilmiştir. Her yöntem için yapılan deneylerde aynı başlangıç çözüm kümesi kullanılmıştır. Çizelge 3.10.'da parçacık sayısı  $n$ , sırasıyla 20, 10 ve 5 olarak atandığında, geleneksel PSO ve geliştirilen yöntemlerle elde edilen  $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$  değerleri verilmiştir:

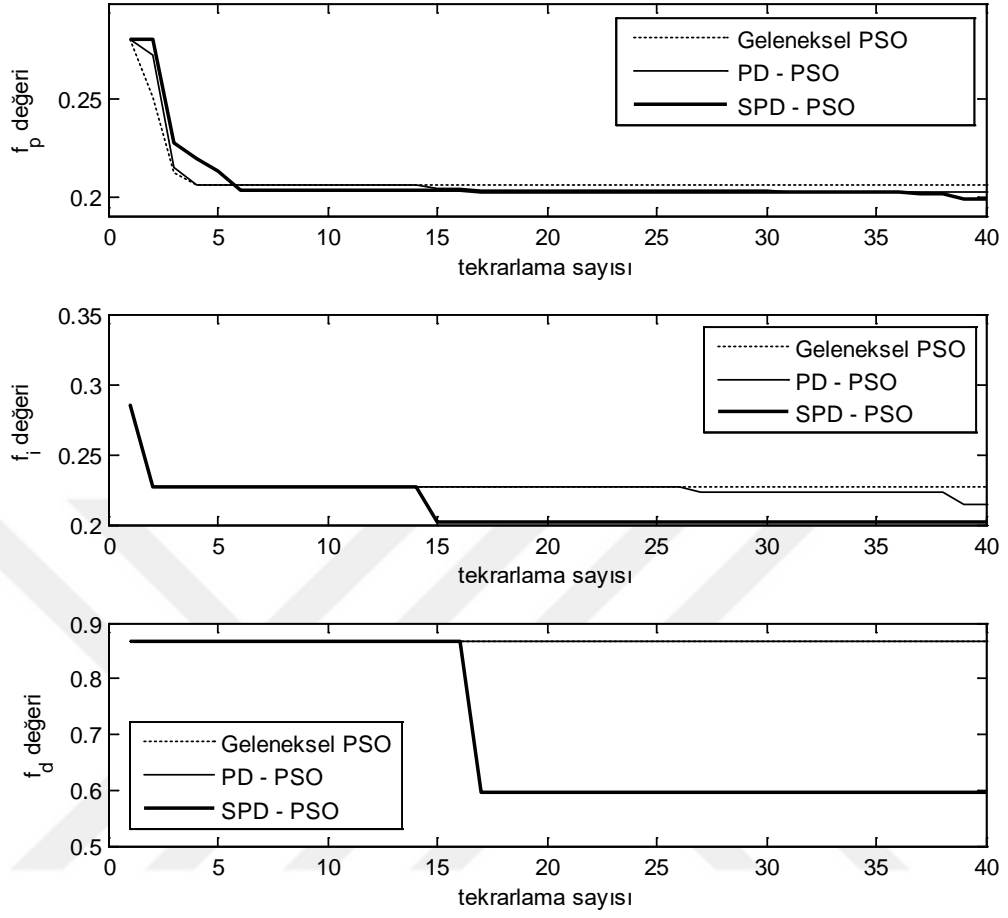
Çizelge 3.10. Parçacık sayısı 20, 10, 5 için Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri ile elde edilen  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  değerleri

Döngü sayısı	Yöntem	$k_p$	$k_i$	$k_d$
<b>n=20</b>	Geleneksel PSO	68,1789	22,8543	0,0123
	Önerilen YP – PSO	71,2329	23,6142	0,0123
	Önerilen SYP - PSO	66,0341	30,3040	0,0112
<b>n=10</b>	Geleneksel PSO	65,4894	23,9177	0,0189
	Önerilen YP – PSO	66,0045	26,5727	0,0139
	Önerilen SYP - PSO	65,7162	26,8720	0,0068
<b>n=5</b>	Geleneksel PSO	31,5122	49,7301	0,0123
	Önerilen YP – PSO	69,0631	85,0199	0,0167
	Önerilen SYP - PSO	65,7589	115,6603	0,0168

### 3.2.1. Algoritmaların Uygunluk Fonksiyonu Performanslarının Karşılaştırılması

Geleneksel PSO ile birlikte önerilen YP – PSO ve SYP – PSO algoritmalarındaki uygunluk fonksiyonunda görülen iyileşme performansları farklı sayılarda parçacıklarla yapılan deneylerle ölçülmüştür.

$n = 20$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  kazançlarının belirlenmesinde küresel uygunluk fonksiyonlarının (P, I ve D kontrol için sırasıyla  $f_p$ ,  $f_i$ ,  $f_d$ ) değişimini gösteren grafikler Şekil 3.4.'te yer almaktadır:



Şekil 3.4.  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi ( $n=20$ )

Şekil 3.4.'te görüldüğü üzere, önerilen yöntemler geleneksel PSO'ya göre oransal, integral ve türevsel kazançların her üçü için de başarı elde etmiştir. Oransal kazancı temsil eden  $k_p$  uygunluk fonksiyonu değeri için, geleneksel PSO, 4. döngüden sonra sabit değere oturmuştur. YP - PSO ve SYP - PSO'da ise uygunluk fonksiyonu değeri ilerleyen döngülerde daha iyi değerlere ulaşmıştır. İntegral kazancı temsil eden  $k_i$  uygunluk fonksiyonu değeri için, 2. döngüde geleneksel PSO sabit değerde seyretmeye başlamışken, YP - PSO 39. döngüde daha düşük bir değere ulaşmışken, SYP - PSO her iki yöntemden de çok daha düşük değere 15. döngüde ulaşmıştır. Türevsel kazancı temsil eden  $k_d$  uygunluk fonksiyonu değerinde ise geleneksel PSO ve YP - PSO uygunluk fonksiyonu değeri değişmezken, SYP - PSO yönteminde 17. döngüde sonunda çok daha düşük değerlere ulaşmıştır.



Çizelge 3.11.'de  $n=20$  parçacıkla yapılan deneyler sonucunda geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin ulaştığı son uygunluk fonksiyonları değerleri bulunmaktadır. Çizelge 3.11. incelendiğinde, PID parametrelerinin optimizasyonunda geliştirilen yöntemlerin başarısının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.11. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin  $n=20$  parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri

	Geleneksel PSO	YP - PSO	SYP - PSO
$f_p$	0,2058	0,2023	0,1983
$f_i$	0,2266	0,2143	0,2023
$f_d$	0,8673	0,8673	0,5955

$n=10$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  kazançlarının belirlenmesinde küresel uygunluk fonksiyonlarının (P, I ve D kontrol için sırasıyla  $f_p$ ,  $f_i$ ,  $f_d$ ) değişimini gösteren grafikler Şekil 3.5.'te yer almaktadır.

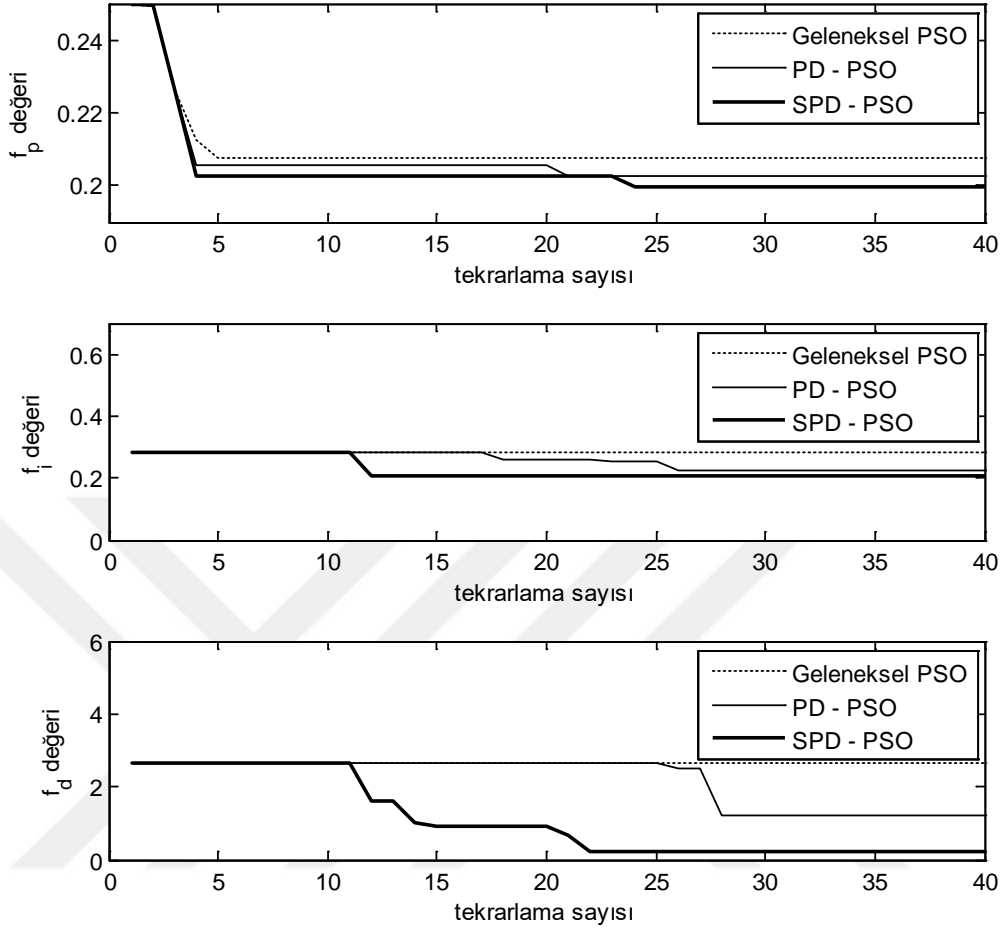
YP – PSO'nun,  $n=10$  parçacık için yapılan deneyler sonucunda  $f_p$ , geleneksel PSO 5. döngüde sabit değere oturduğunda YP – PSO ve SYP – PSO için daha düşük değerdedir. Buna ek olarak SYP – PSO 24. döngüde çok daha iyi değere ulaşmıştır. İntegral kazanç uygunluk fonksiyonu değeri  $f_i$ , geleneksel PSO'da değişmezken, YP – PSO'da 40. döngüde daha iyi değere gelirken, SYP – PSO 12. döngüde her iki yönteme göre çok daha iyi değere ulaşmıştır.

Çizelge 3.12.'de  $n=10$  parçacık için geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin uygunluk fonksiyonları değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.12. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin  $n=10$  parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri

	Geleneksel PSO	YP - PSO	SYP - PSO
$f_p$	0,2078	0,2028	0,1998
$f_i$	0,2856	0,2219	0,2066
$f_d$	2,6769	1,2028	0,1994

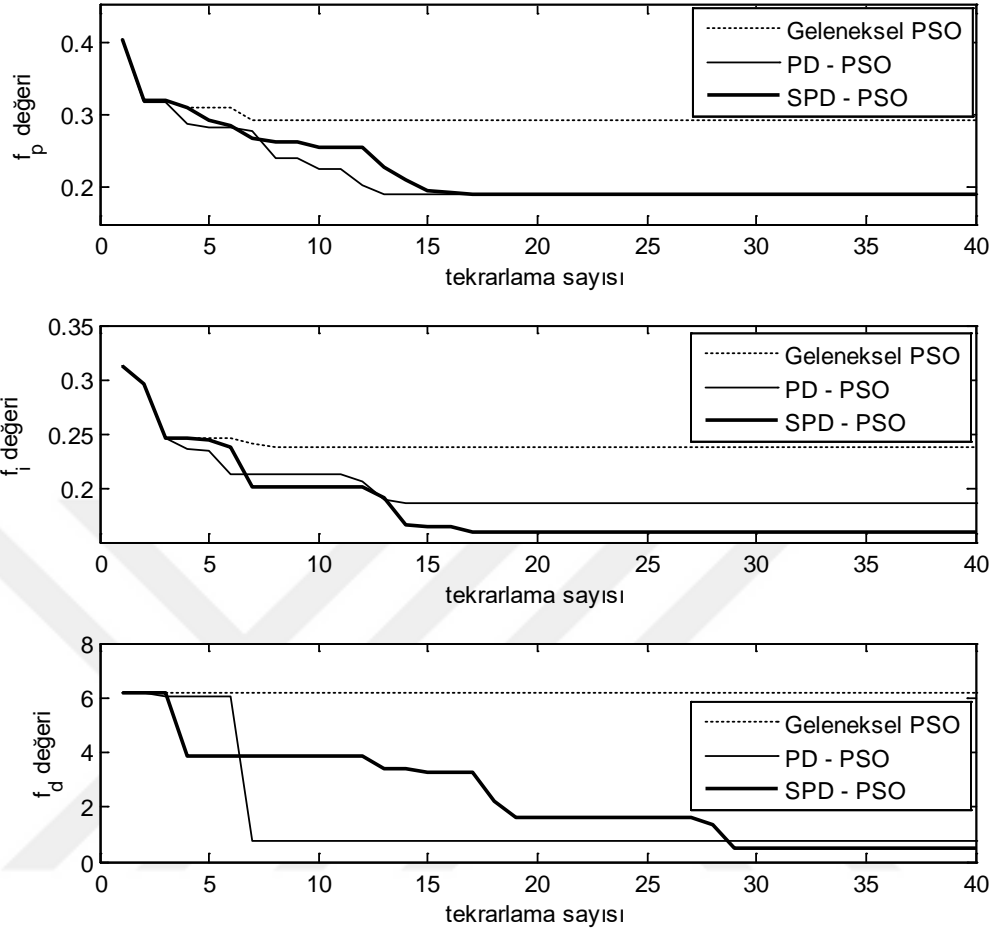
Çizelge 3.12.'de görülen uygunluk fonksiyonu değerlerinden, geliştirilen yöntemlerle elde edilenlerin geleneksel PSO yöntemiyle elde edilen değerlerden daha düşük, yani daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5.  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi ( $n=10$ )

$n=5$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  kazançlarının belirlenmesinde küresel uygunluk fonksiyonlarının değişimini gösteren grafikler Şekil 3.6.'da yer almaktadır.

YP – PSO ve SYP – PSO'nun,  $n=5$  parçacık için yapılan deneyler sonucunda da geleneksel PSO'ya göre daha başarılı olduğu Şekil 3.6.'da görülmektedir. Parçacık sayısının azaltılması, arama uzayını daralmasına yol açar ve bu şartlar altında en iyiye ulaşmak daha zor bir ihtimaldir.  $n=5$  parçacık için, geleneksel PSO'ya göre başarılı sonuç elde edilmesi önerilen yöntemlerin çok daha iyi performans gösterebileceği ihtimalini kanıtlayan bir durumdur.



Şekil 3.6.  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  için küresel uygunluk fonksiyonu değeri değişimi ( $n=5$ )

Çizelge 3.13.'te  $n=5$  parçacık için geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin uygunluk fonksiyonları değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.13. PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemlerinin  $n=5$  parçacık için uygunluk fonksiyonlarının değerleri

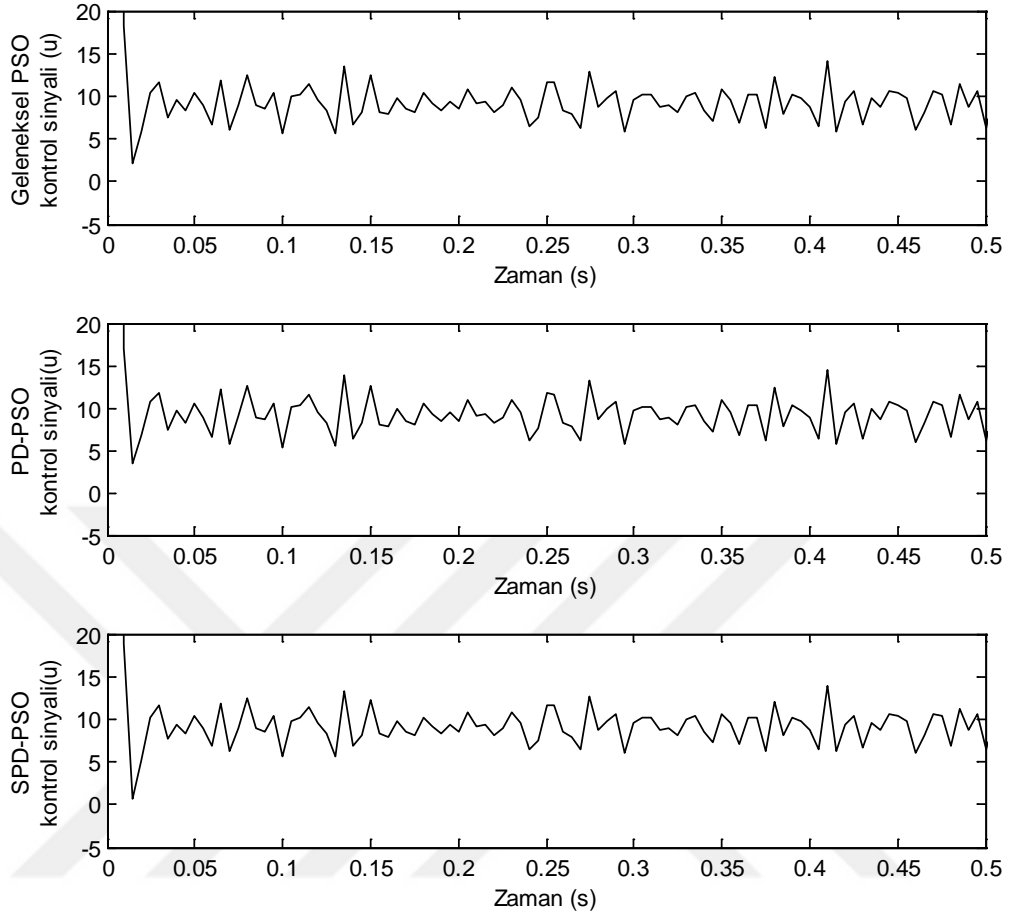
	Geleneksel PSO	YP - PSO	SYP - PSO
$f_p$	0,2925	0,1907	0,1900
$f_i$	0,2367	0,1856	0,1598
$f_d$	6,1767	0,7556	0,4999

Çizelge 3.13.'teki uygunluk fonksiyonu değerlerinden anlaşıldığı üzere,  $n=20$  ve  $n=10$  parçacık için yapılan deneylerde de olduğu gibi, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak,  $n=5$  parçacık için yapılan deneylerde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta arama uzayı içinden daha az parçacık seçilmiş olmasıdır. Toplamda 5 parçacık içinden en iyiye ulaşma performansı bakımından YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin geleneksel PSO yönteminden daha iyi olmaları, geliştirilen yöntemlerin başarısını kanıtlar niteliktedir.

### **3.2.2. Algoritmaların Kontrol Sinyali Performanslarının Karşılaştırılması**

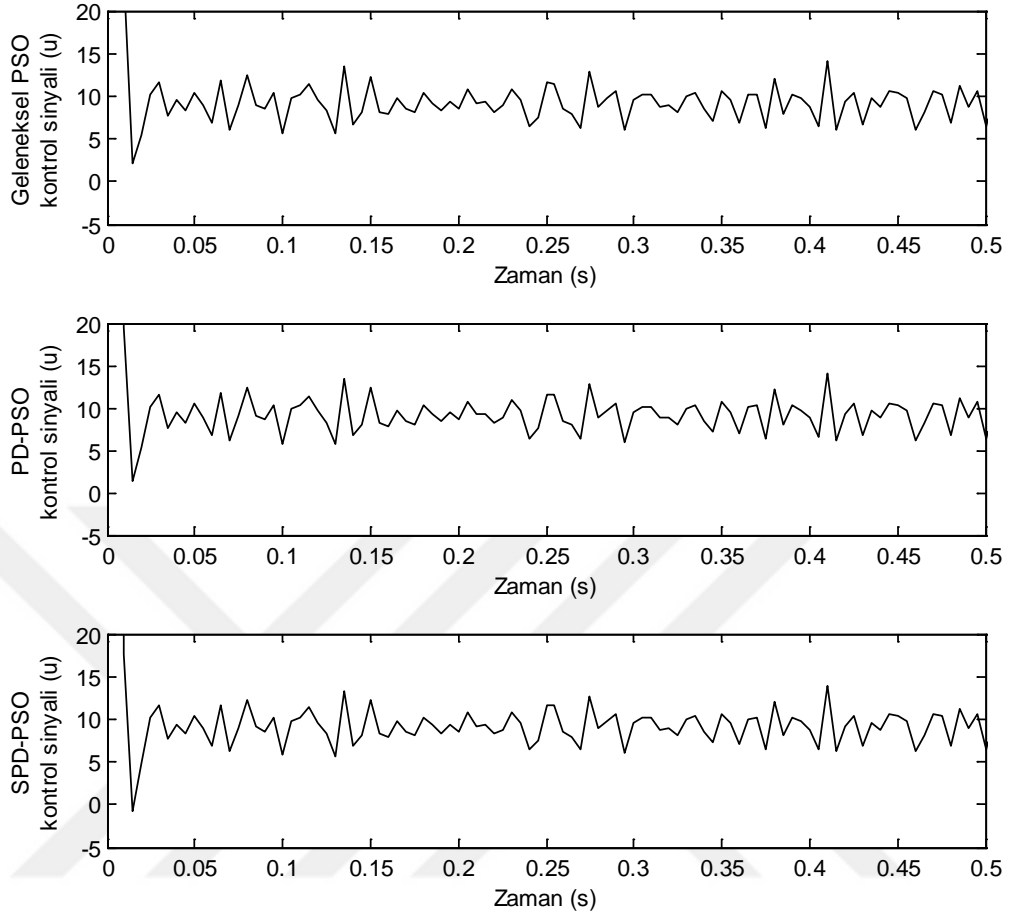
Bu bölümde, geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri ile elde edilen kontrol sinyalinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yöntemler arasındaki performans farkının gözlemlenebilmesi amacıyla, grafiklerde zaman aralığı 0 ile 0,5s, kontrol sinyali değeri ise -5V ile 20V arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

$n = 20$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin kontrol sinyali performansları Şekil 3.7.'de görülmektedir. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile elde edilen kontrol sinyallerinin performansları birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=20)

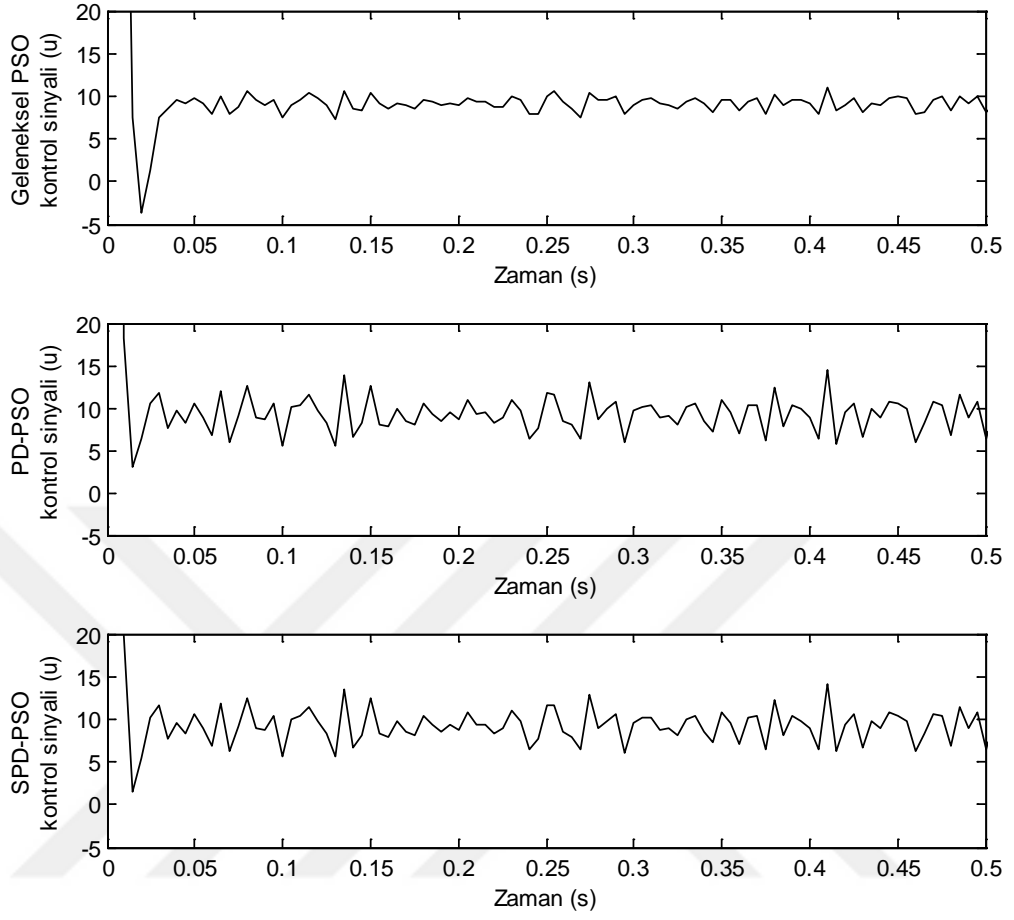
$n = 10$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin kontrol sinyali performansları Şekil 3.8.'de görülmektedir. 20 parçacıkla yapılan deneysel çalışmada görülen sonuç gibi, 10 parçacıkla yapılan çalışmada da tüm yöntemler benzer nitelikte kontrol sinyali üreten parametrelere ulaşmıştır.



Şekil 3.8. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=10)

$n = 5$  için geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin kontrol sinyali performansları Şekil 3.9.'da verilmiştir. Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi  $n=5$  parçacık için yapılan deneylerde geleneksel PSO yöntemi ile elde edilen kontrol sinyali negatif yönde, gerçek sistemlerde istenmeyecek bir başlangıç yaparken, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyallerinde bu şekilde bir karakteristik görülmektedir.

Çizelge 3.14.'te geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile 20, 10 ve 5 parçacık ile yapılan deneylerde elde edilen kontrol sinyalinin standart sapma değerleri görülmektedir.



Şekil 3.9. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyalleri (n=5)

Çizelge 3.14. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleriyle elde edilen kontrol sinyallerinin farklı parçacık sayılarındaki standart sapma değerleri

Yöntem	Döngü Sayısına Göre Standart Sapma		
	n=20	n=10	n=5
Geleneksel PSO	17,4530	16,8088	9,2108
YP – PSO	18,1328	16,9604	17,6164
SYP – PSO	16,9879	16,9554	16,8829

Çizelge 3.14.'te görüldüğü üzere,  $n=20$  için SYP – PSO yöntemi ile elde edilen kontrol sinyalinin standart sapması, diğer yöntemlere göre daha düşük değerdedir.  $n=10$  ve  $n=5$  için yapılan deneylerde ise geleneksel PSO yöntemi, geliştirilen yöntemlere göre kontrol sinyalindeki standart sapma açısından daha başarılı sonuç elde etmiştir. Ancak bu başarımla, uygunluk fonksiyonlarını göz önüne alındığında sistem çıkışına olumsuz bir etki olarak yansımıştır. Çünkü, kontrol sinyalinin standart sapma değerinin çok düşük olması, sistemdeki gürültüleri bastırarak nitelikte olmadığı anlamına gelmektedir.

### 3.2.3. Algoritmaların Çıkış Performanslarının Karşılaştırılması

Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleriyle  $n=20$ ,  $n=10$  ve  $n=5$  parçacık için elde edilen sistem çıkışlarının karşılaştırılmasını içeren deney sonuçları aşağıda yer almaktadır. Burada, yöntemler arasındaki farkın anlaşılması amacıyla, grafiklerdeki zaman aralığı 0-0,3 saniye, sistem çıkışı ise 0 ile 10 V arasında seçilmiştir.

$n=20$  parçacık ile yapılan deneylerde elde edilen sistem çıkış grafikleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Şekil 3.10.'da görüldüğü üzere, her üç yöntemde de aşım meydana gelmemiş ve benzer çıkış performansları gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.15.'te, çıkış grafiklerini daha ayrıntılı şekilde analiz edebilmek için, 20 parçacık için yapılan deneylerde elde edilen hataya bağlı uygunluk fonksiyonlarından ISE, ITAE, kalıcı durum hatası,  $e_{ss}$  ve aşım değeri,  $y_{max}$ , değerleri görülmektedir.

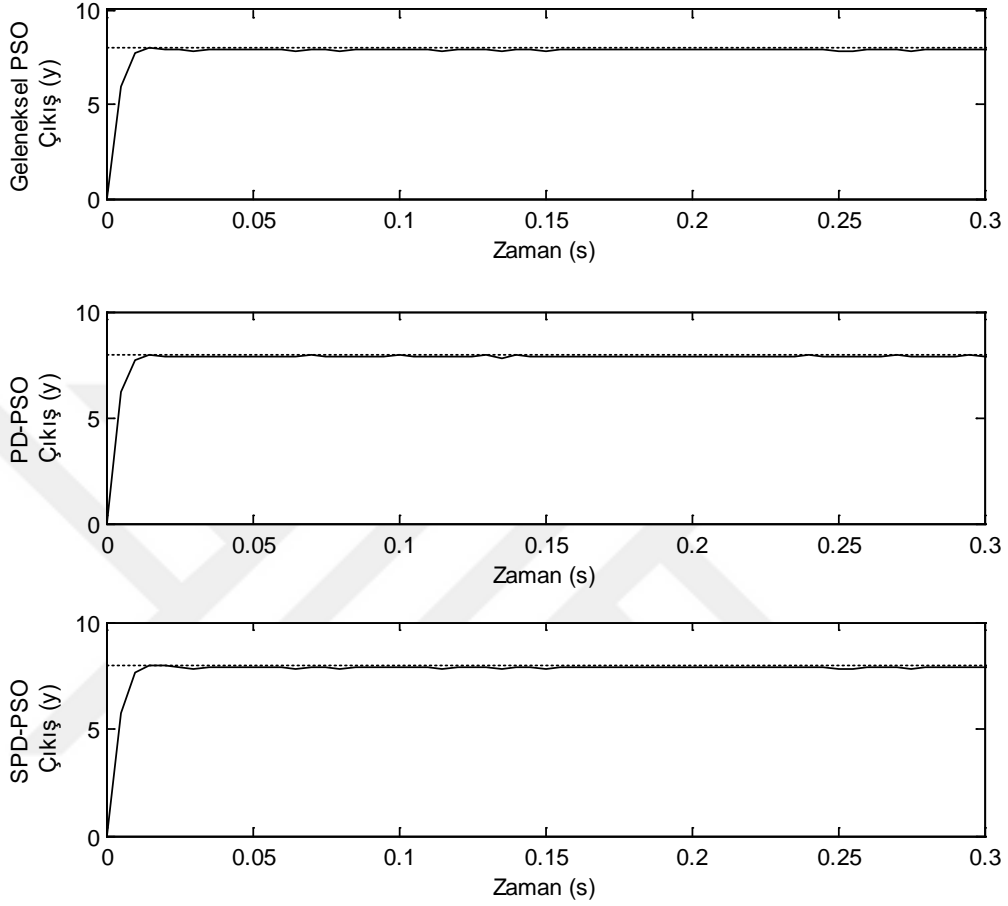
Çizelge 3.15. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak  $n=20$  parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE,  $e_{ss}$ ,  $y_{max}$  değerleri

	Geleneksel PSO	YP - PSO	SYP - PSO
<b>ISE</b>	0,2104	0,2088	0,2053
<b>ITAE</b>	0,5845	0,5671	0,4444
<b><math>e_{ss}</math></b>	0,0509	0,0492	0,0380
<b><math>y_{max}</math></b>	8,0288	8,0299	8,0400

Hataya bağlı uygunluk fonksiyonlarından ISE, ITAE değerlerinin ve kalıcı durum hatasının geliştirilen yöntemlerde geleneksel PSO'ya göre daha düşük, aşım değerinin ise geleneksel PSO yönteminde diğerlerinden daha düşük olduğu Çizelge 3.15.'te görülmektedir. Aşım değeri haricinde ISE, ITAE ve kalıcı durum hatasının en düşük elde



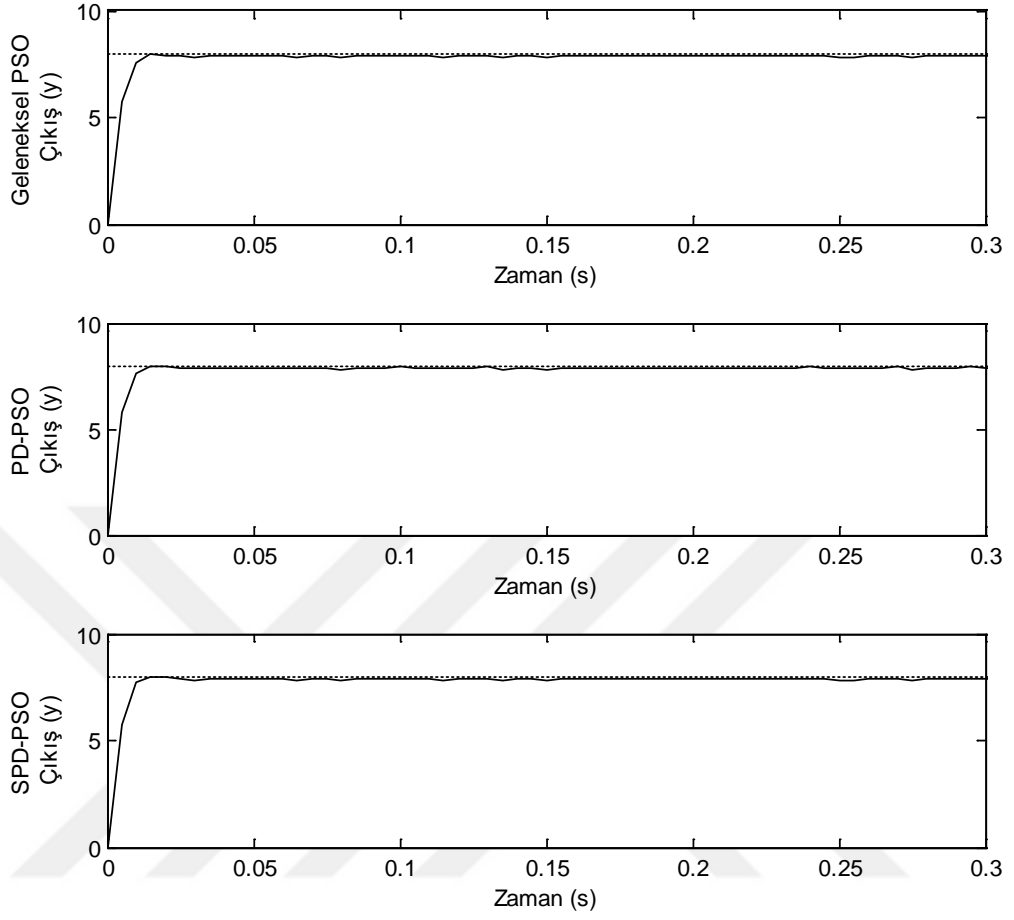
edildiği yöntem SYP – PSO olmuştur. Ancak, tüm yöntemlerinde aşım referansın %2'sini aşmamıştır.



Şekil 3.10. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=20 parçacık için sistem çıkış grafikleri

n=10 parçacık için yapılan deneylerde elde edilen sistem çıkış grafikleri Şekil 3.11.'de görülmektedir.

Çizelge 3.16.'da 10 parçacık için yapılan deneylerde elde edilen hataya bağlı uygunluk fonksiyonlarından ISE, ITAE, kalıcı durum hatası  $e_{ss}$ , aşım değeri  $y_{max}$  değerleri görülmektedir.



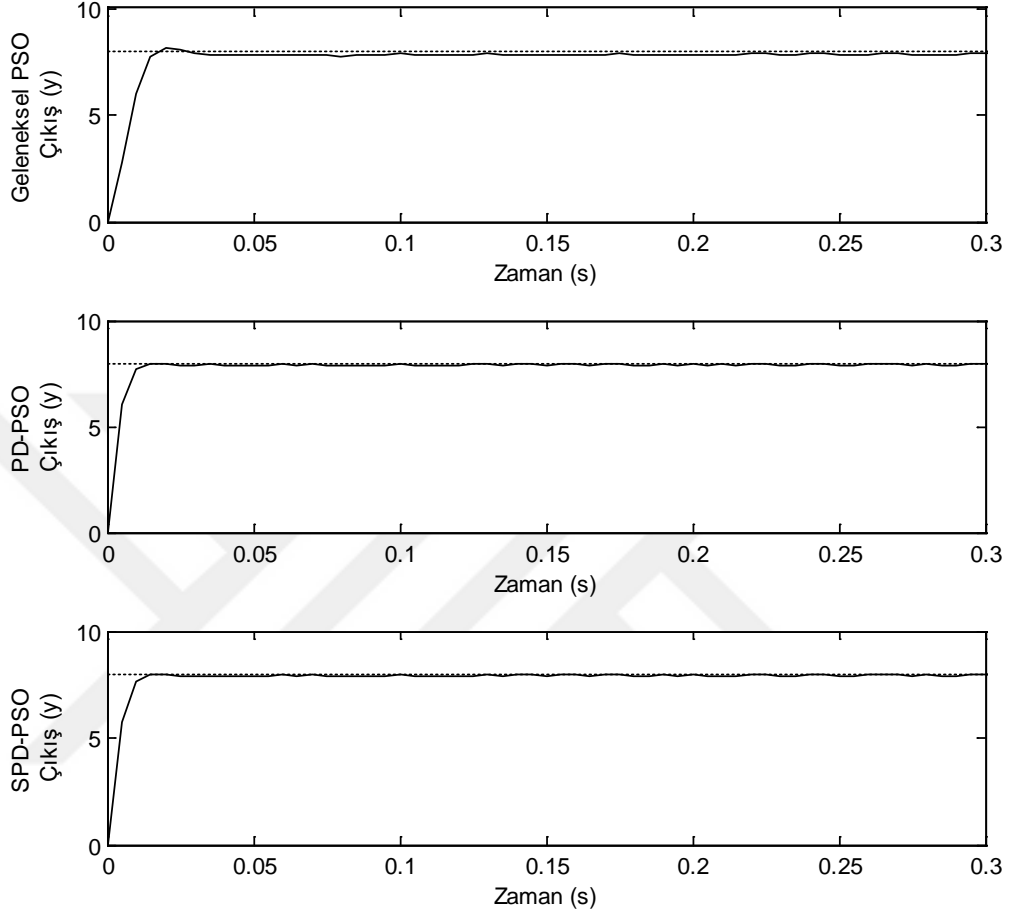
Şekil 3.11. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=10 parçacık için sistem çıkış grafikleri

Çizelge 3.16. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak n=10 parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE,  $e_{ss}$ ,  $y_{max}$  değerleri

	<b>Geleneksel PSO</b>	<b>YP - PSO</b>	<b>SYP - PSO</b>
<b>ISE</b>	0,2109	0,2080	0,2081
<b>ITAE</b>	0,5588	0,5063	0,5023
<b><math>e_{ss}</math></b>	0,0487	0,0439	0,0435
<b><math>y_{max}</math></b>	8,0306	8,0351	8,0359

Hataya bağlı uygunluk fonksiyonları değerleri ISE, ITAE ve kalıcı durum hatası geliştirilen yöntemlerde daha düşük olmakla birlikte, en başarılı ISE değeri YP – PSO, ITAE ve kalıcı durum hatası değeri SYP – PSO yöntemi ile elde edilmiş, en küçük aşım değeri geleneksel PSO yöntemi ile yapılan deneyde görülmüştür.

n=5 parçacık için yapılan deneylerde elde edilen sistem çıkış grafikleri Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Geleneksel PSO, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin n=5 parçacık için sistem çıkış grafikleri

Şekil 3.12.’de 5 parçacık için yapılan deneylerde, geleneksel PSO yöntemi kullanıldığında sistem çıkışında meydana gelen aşım, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemleri ile giderilmiştir. Buna ek olarak yükselme zamanının, geliştirilen yöntemlerde geleneksel PSO yöntemine göre daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.17.’de 5 parçacık ile yapılan deneylerde elde edilen hataya bağlı uygunluk fonksiyonlarından ISE, ITAE, kalıcı durum hatası  $e_{ss}$ , aşım değeri  $y_{max}$  değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.17. Geleneksel PSO, YP – PSO, SYP – PSO yöntemleri kullanılarak n=5 parçacık ile yapılan deneyler sonucu elde edilen ISE, ITAE,  $e_{ss}$ ,  $y_{max}$  değerleri

	<b>Geleneksel PSO</b>	<b>YP - PSO</b>	<b>SYP - PSO</b>
<b>ISE</b>	0,2925	0,1914	0,1901
<b>ITAE</b>	0,2290	0,1922	0,1659
<b><math>e_{ss}</math></b>	0,0077	0,0065	0,0026
<b><math>y_{max}</math></b>	8,1606	8,0723	8,0743

Hataya bağlı uygunluk fonksiyonlarından ISE, ITAE ve kalıcı durum hatası değerleri kıyaslandığında geliştirilen yöntemlerin geleneksel PSO yöntemine göre daha başarılı olduğu ve buna ek olarak en başarılı yöntemin SYP – PSO olduğu Çizelge 3.17.'de görülmektedir. Bununla birlikte geliştirilen yöntemlerde aşım değerinin geleneksel PSO'ya göre az olduğu görülmüş, YP – PSO aşımın en az olduğu yöntem olarak tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak çalışmanın yapı taşını oluşturan kontrol ve optimizasyon terimleri tanıtılmıştır. Günümüzde yaygın kullanım alanı bulan PID denetleyici anlatılmış ve denetleyicinin parametrelerini ayarlamak için yapılan bir dizi araştırma ve deney yapıp tez çalışması yürütülmüştür.

PID parametrelerini ayarlamak için literatürde yer alan birçok yöntem arasından Geleneksel PSO yöntemi seçilmiş ve çıkış grafiğine bağlı ayarlama yöntemleri kullanılarak en uygun başlangıç parametreleri belirlenmiştir. Geleneksel PSO yöntemine yenilikler getirilerek Yenilenen Parçacıklı PSO (YP - PSO) ve Sınırlandırılmış Yenilenen Parçacıklı PSO (SYP - PSO) yöntemleri geliştirilmiştir. Geleneksel PSO ile geliştirilen yöntemlerin performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla farklı parçacık sayılarından oluşan deneyler yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, YP – PSO ve SYP – PSO yöntemlerinin geleneksel PSO yöntemine göre birçok yönden üstün performans sergilediği görülmüştür. Bunlar arasında;

- Geleneksel PSO ile elde edilen performansa yakın sonuçlar, önerilen yöntemlerle daha az parçacıkla daha az döngü sonunda elde edilebilmiştir.
- Her döngüde, optimum çözüme katkısı en az olan en kötü parçacığın yeni bir parçacıkla değiştirilmesi, sonuca ulaşılmasını hızlandırmıştır.
- Yeni parçacığın seçiminde, en kötü parçacığın uygunluk fonksiyonu değerine göre sınırların güncellenmesi önerilen yöntemlerin performansını artırmıştır.

Yukarıdaki sonuçlar değerlendirildiğinde önerilen yöntemler, daha hızlı sonuç elde edilebilme yeteneği açısından endüstriyel sistemlerde kullanılan denetleyicilerin optimizasyonunda kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ahmadi, S., Abdi, S. ve Kakavand, M., 2017. Maximum Power Point Tracking of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell System Using PSO-PID Controller, **International Journal of Hydrogen Energy**, VOL. 42, NO. 32, s.20430-20443.
- Akat, S. B. ve Efe, M. Ö., 2007. Bir Manyetik Askı Sisteminin Kontrolünde Dört Yöntemin Karşılaştırılması. **Türkiye Otomatik Kontrol Toplantısı**, 5-7 Eylül 2007, İstanbul.
- Al-Mayyahi, A., Wang, W. ve Birch, P., 2015. Path Tracking of Autonomous Ground Vehicle Based on Fractional Order PID Controller Optimized by PSO, **IEEE 13<sup>th</sup> International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics**, DOI: 10.1109/SAMI.2015.7061857.
- Alrashidi, M. R. ve El-Hawary, M. E., 2007. A Survey of Particle Swarm Optimization Applications in Power System Operations. **Electric Power Components and Systems**, Cilt: 34, Sayı: 12, s. 1349-1357.
- Aygün, H., 2011. Akışkan Yataklı Buhar Kazanının Yatak Sıcaklığının Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı PID Kontrolör (PSO-PID) ile Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi
- Azharuddin, M. ve Jana, P.K., 2016. Particle Swarm Optimization for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks, **Computers and Electrical Engineering**, VOL. 51, s.26-42.
- Calvini, M., Carpita, M., Formentini, A. ve Marchesoni, M., 2015. PSO-Based Self-Commissioning of Electrical Motor Drives, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, VOL. 62, NO. 2, s.768-776.
- Çarbaş, S. ve Saka, M. P., 2015. Suni Arı Kolonisi Yöntemi Kullanılarak Soğuk Şekillendirilmiş İnce Cidarlı Çelik Kesitlerden Yapılan Az Katlı Çelik Çerçevelerin Tasarım Optimizasyonu. **XIX. Ulusal Mekanik Kongresi**, 24-28 Ağustos 2015, Trabzon.
- Diep, D. V. ve Khoa, V. V., 2014. PID-Controllers Tuning Optimization with PSO Algorithm for Nonlinear Gantry Crane System, **International Journal of**

**Engineering and Computer Science ISSN:2319-7242, VOL. 3, NO. 6, s.6631-6635.**

- Dikmen, H., Dikmen, H., Elbir, A., Ekşi, Z. ve Çelik F., 2014. Gezgin Satıcı Probleminin Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Karşılaştırılması. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 18(1), 8-13.
- Eldem, H., 2014. Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritmaları Temelli Bir Hiyerarşik Yaklaşım Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Furat, M. ve Eker, İ., 2012. Experimental Evaluation of Sliding-Mode Control Techniques. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 27(1), ss. 23-37
- Furat, M. ve Gidemem, G., 2016. PSO ile PID Parametrelerinin Optimizasyonunda Uygunluk Fonksiyonu Seçiminin Tekrarlama Sayısına Etkisi. **Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2016**, 29 Eylül-1 Ekim 2016, Eskişehir.
- Gidemem, G. ve Furat, M., 2015. PID Parametrelerinin Ayarlama Yöntemleri: 2. Derece Sistem Modeline Uygulanması ve Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 30(2), ss. 355- 362.
- Gidemem, G. ve Furat, M., 2017. Parçacık Değiştirmeli PSO Algoritması PID Denetleyici Optimizasyonu Üzerine Uygulaması. **Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)**, 16-17 Eylül 2017, Malatya.
- Hajisalm, A., Altaş ve İ. H., 2014. Hibrit Rüzgar/FV Enerji Sistemleri İçin PID Denetleyici Parametrelerinin PSO ve GA ile Optimizasyonu. **Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu**, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
- Ibrahim, H.E.A., Hassan, F.N. ve Shomer, A.O., 2014. Optimal PID Control of a Brushless DC Motor using PSO and BF Techniques, **Ain Shams Engineering Journal**, VOL. 5, NO. 2, s.391-398.
- İbrahim, H. E. A., Hassan, F. N. ve Shomer, A. O., 2014. Optimal PID Control of a Brushless DC Motor using PSO and BF Techniques. **Ain Shams Engineering Journal**, 5, 391–398.

- Karaboğa, D. ve Aslan, S., 2016. Paralel Yapay Arı Koloni Algoritması İçin En İyi Çözümler ile Yeni Bir Göçmen Üretim Yaklaşımı. **Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)**, 16-19 Mayıs 2016, Zonguldak.
- Kasap, M., 2015. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritmasının Başarım Analizi, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaur, P., Kumar, V. ve Sharma, R., 2016. Speed Control of Hybrid Electric Vehicle using PSO Based Fractional Order PID Controller, **1<sup>st</sup> India International Conference on Information Processing**, DOI: 10.1109/IICIP.2016.7975363.
- Kaya, A., 2017. Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Sanal Pamuk Üretim Modellemesi. **Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi**, Cilt:2, Sayı:1, s. 27-37.
- Khanduja, N. ve Bhushan, B., 2016. Intelligent Control of CSTR using IMC-PID and PSO-PID Controller, **1<sup>st</sup> IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems**, DOI: 10.1109/ICPEICES.2016.7853329.
- Modares, H., Alfi, A. ve Sistani, M. N., 2010. Parameter Estimation of Bilinear Systems based on an Adaptive Particle Swarm Optimization. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Cilt:23, s.1105–1111.
- Mu, S., Tanaka, K. ve Nakashima, S., 2014. Intelligent PID Control for USM Using PSO in Real-time Environment, **International Symposium on Computer, Consumer and Control**, DOI: 10.1109/IS3C.2014.203.
- Nangru, D., Bairwa, D.K., Singh, K., Nema, S. ve Padhy, P.K., 2013. Modified PSO based PID Controller for Stable Processes, **2013 International Conference on Control, Automation Robotics and Embedded Systems (CARE)**, DOI: 10.1109/CARE.2013.6733708.
- Ömürlü, V. E., Otomatik Kontrol I Ders Notu, [www.yildiz.edu.tr/~omurlu/CF/OKI/12.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~omurlu/CF/OKI/12.pdf), Erişim: 26.12.2017
- Öziç, M. Ü., Özbay, Y. ve Baykan, Ö. K., 2014. Beyin MR Görüntüsünde Otsu-PSO Yöntemi ile Tümör Tespiti. **2014 IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2014)**, 23-25 Nisan 2014, Trabzon.



- Padula, F. ve Visioli, A., 2011. Tuning rules for optimal PID and fractional-order PID controllers. **Journal of Process Control**, Cilt:21, s.69–81.
- Pano, V. ve Ouyang, P.R., 2014. PSO Gain Tuning for Position Domain PID Controller, **The 4<sup>st</sup> Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems**, DOI: 10.1109/CYBER.2014.6917493.
- Qian, J., Shen, S., Shan, L., Lyu, L. ve Qi, Z., 2016. The Application of the Improved Particle Swarm Algorithm in Parameter Tuning of Partition PID, **IEEE International Conference on Information and Automation**, DOI: 10.1109/ICInfA.2016.7831909.
- Sahib, M.A. ve Ahmed, B.S., 2016. A New Multiobjective Performance Criterion Used in PID Tuning Optimization Algorithms, **Journal of Advanced Research**, VOL. 7, NO. 1, s.125-134.
- Singh, K., Nema, S. ve Padhy, P.K., 2014. Modified PSO Based PID Sliding Mode Control for Inverted Pendulum, **International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)**, DOI: 10.1109/ICCICCT.2014.6993054.
- Wai, R., Lee, J. ve Chuang, K., 2011. Real-Time PID Control Strategy for Maglev Transportation System via Particle Swarm Optimization, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, VOL. 58, NO. 2, s.629-646.
- Ye, Y., Yin, C., Gong, Y. ve Zhou, J., 2017. Position Control of Nonlinear Hydraulic System using an Improved PSO based PID Controller. **Mechanical Systems and Signal Processing**, Cilt: 83, s.241–259.
- Zhan, Z., Zhang, J., Li, Y. ve Shi, Y., 2011. Orthogonal Learning Particle Swarm Optimization, **IEEE Transactions On Evolutionary Computation**, VOL. 15, NO. 6.

## ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1992 yılında İskenderun'da doğmuştur. İlk ve orta öğretimini İskenderun'da tamamlamıştır. 2009 yılında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 2013 yılında mezun olmuştur. 2014 yılından beri Atlas Enerji Üretim A.Ş.'de Ölçü Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.

