

**T.C.  
HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU TABANLI PID  
KONTROLÖR İLE AA SERVOMOTOR DENETİMİ**


**Erhan ÇETİN**

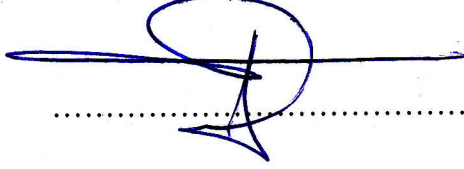
**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANLAR  
Prof. Dr. Halil AYKUL  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK**

**AĞUSTOS 2013  
ÇORUM**

Erhan ÇETİN tarafından hazırlanan “Parçacık Sürüşü Optimizasyonu Tabanlı PID Kontrolör İle Ac Servomotor Denetimi” adlı tez çalışması 19.08.2013 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans /~~Doktora~~ tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Halil AYKUL (Danışman) ..... 

Doç. Dr. Ahmet Fenercioğlu ..... 

Yrd. Doç. Dr. Ferid KÖSTEKÇİ ..... 

Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 27.08.2013. tarih ve 2013/05..... sayılı kararı ile Erhan ÇETİN’in Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans /~~Doktora~~ derecesi alması onanmıştır.



Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BEYANI**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Erhan ÇETİN

# PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU TABANLI PID KONTROLÖR İLE AA SERVOMOTOR DENETİMİ

Erhan ÇETİN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2013

## ÖZET

Bu çalışmada, AA servomotorlar ile tahrik edilen bir hareket kontrol sisteminin hız ve pozisyon kontrolü için optimal PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesinde parçacık sürüsü algoritması (PSO) olarak adlandırılan yeni bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Tasarım kriterlerini belirlemek için AA servomotorlara ait matematiksel model çıkartılmıştır. Optimizasyon işlemi yükselme zamanları, yerleşme zamanları ve aşma zamanları dikkate alınmıştır. Kontrolörün performansını belirleyebilmek için ITAE (Integral of Time Weighted Absolute Error), IAE (Integral of Absolute Error), ISE (Integral of Squared Error) ve ITSE (Integral of Time Weighted Squared Error) gibi farklı kriterler kullanılarak bir kıyaslama yapılmıştır. Optimizasyon işleminde önerilen kriterin etkinliğini göstermek için ac servomotorların hız ve pozisyon kontrolü Ziegler-Nichols yöntemi ile de karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları önerilen algoritmanın üstünlüğünü ve doğruluğunu göstermiştir. Ayrıca elde edilen çözümün kalitesi göz önüne alındığında, önerilen algoritma hareket kontrol sistemlerinde oluşan hataların en aza indirgenmesi sorunun çözümünde etkili ve güçlü görünmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Parçacık sürüsü optimizasyonu, PSO, IAE, ITAE, ISE, ITSE, AA servomotor

# AC SERVOMOTOR CONTROL WITH PID CONTROLLER USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Erhan ÇETİN

HİTİT UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2013

## ABSTRACT

In this study, a new design method called particle swarm optimization (PSO) is used for the determination of PID control parameters, which are designated for the controlling of the speed and the position of the ac servomotor. For the determination of the decision parameters ac servomotors are mathematically modeled. Rise time, settling time and overshoot are taken into consideration, during the optimization process. Controller's performance is determined based on different criteria, such as, ITAE (Integral of Time Weighted Absolute Error), IAE (Integral of Absolute Error), ISE (Integral of Squared Error) and ITSE (Integral of Time Weighted Squared Error). In order for the demonstration of the effectiveness of the criteria, velocity and position control of the ac servomotors was compared to the Ziegler-Nichols method. Superiority and accuracy of the proposed technique was verified by simulation results. In addition, considering the quality of the obtained results, proposed technique is found effective and strong in reduction of the error of motion control systems.

**Keywords:** Particle swarm optimization, PSO, IAE, ITAE, ISE, ITSE, AC servomotor

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, teővik ve destekleri ile her türlü problemin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan danışman hocalarım Prof. Dr. Halil AYKUL ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK'a, değerli yardımlarından dolayı Arő. Gör. Hüsamettin BAYRAM'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli eőim Merve TUNAY ÇETİN'e teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ .....	1
2.LİTERATÜR.....	7
2.1. Servomotorlar .....	7
2.1.1. DA Servomotorlar .....	7
2.1.2. AA Servomotorlar.....	10
2.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO).....	18
2.2.1. Parçacık sürüsü optimizasyonu ana parametreleri.....	21
2.2.2. PSO uygunluk kriteri.....	25
2.3. PID Denetimi ve Temel Özellikleri.....	26
2.3.1. P denetim (Oran etki ve orantı denetim).....	28
2.3.2. PI denetim (Orantı artı integral denetim).....	29
2.3.3. PD denetim (Orantı artı türev denetim).....	30
2.3.4. PID denetim (Orantı artı integral artı türev denetim).....	31
2.4. Ziegler-Nichols Yöntemi.....	33
3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SİMULASYON SONUÇLARI.....	36
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
5. KAYNAKLAR.....	54
6. ÖZGEÇMİŞ.....	58

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Enkoder ile resolverin karşılaştırılması.....	18
Çizelge 2.2. PID katsayılarının sistem üzerine etkisi.....	28
Çizelge 2.3. Ziegler-Nichols açık döngü ayar parametreleri.....	34
Çizelge 2.4. Ziegler-Nichols kapalı döngü ayar parametreleri.....	35
Çizelge 3.1. Omron K40030H marka AA servomotor parametreleri.....	37
Çizelge 3.2. Ziegler-Nichols yöntemi ile AA servomotorun PID değerleri.....	38
Çizelge 3.3. Ziegler-Nichols yöntemi ile oluşturulan adım cevabının karakteristikleri .....	39
Çizelge 3.4. 4 farklı kritere göre PID değerleri, hata toplamları ve 10 bin iterasyon için geçen süre.....	48
Çizelge 3.5. 4 farklı kriterin yükselme zamanı, yerleşme zamanı, aşma yüzdesi ve kararlı durum hatası.....	52



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1-a. Uzun rotorlu DA servomotorların yapısı.....	8
Şekil 2.1-b. Disk rotorlu DA servomotorların yapısı.....	8
Şekil 2.1-c. Çan rotorlu DA servomotorların yapısı.....	8
Şekil 2.2. Servomotor çalışma sisteminin blok diyagramı.....	12
Şekil 2.3. AA Servomotorun sembolik gösterimi.....	13
Şekil 2.4. Servomotorun tork - hız karakteristiği.....	13
Şekil 2.5. Resolver blok şeması.....	17
Şekil 2.6. PSO parametrelerinin vektör olarak gösterimi.....	21
Şekil 2.7. PSO akış diyagramı.....	24
Şekil 2.8. PID Kontrolörün Blok Diyagramı.....	27
Şekil 2.9. PSO-PID Kontrolör.....	33
Şekil 2.10. Ziegler-Nichols metodu kapalı döngü sistem cevabı.....	34
Şekil 3.1. PID ve geri besleme.....	37
Şekil 3.2. Kapalı döngü çevrime göre sistem adım cevabı.....	38
Şekil 3.3. AA Servomotor için Ziegler-Nichols'a göre adım cevabı.....	39
Şekil 3.4. AA Servomotor için Ziegler-Nichols'a göre adım cevabı.....	40
Şekil 3.5. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	41
Şekil 3.6. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	41
Şekil 3.7. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	41
Şekil 3.8. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	41
Şekil 3.9. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	42
Şekil 3.10. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	42

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.11. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	42
Şekil 3.12. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	42
Şekil 3.13. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	43
Şekil 3.14. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	43
Şekil 3.15. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	43
Şekil 3.16. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	43
Şekil 3.17. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	44
Şekil 3.18. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	44
Şekil 3.19. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	44
Şekil 3.20. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları.....	44
Şekil 3.21. Parçacıkların IAE kriteri altında pozisyonları.....	46
Şekil 3.22. Parçacıkların ITAE kriteri altında pozisyonları.....	46
Şekil 3.23. Parçacıkların ISE kriteri altında pozisyonları.....	47
Şekil 3.24. Parçacıkların ITSE kriteri altında pozisyonları.....	47
Şekil 3.25. AA Servomotor için IAE kriterine göre adım cevabı.....	48
Şekil 3.26. AA Servomotor için IAE kriterine göre adım cevabı.....	49
Şekil 3.27. AA Servomotor için ITAE kriterine göre adım cevabı.....	49
Şekil 3.28. AA Servomotor için ITAE kriterine göre adım cevabı.....	50
Şekil 3.29. AA Servomotor için ISE kriterine göre adım cevabı.....	50
Şekil 3.30. AA Servomotor için ISE kriterine göre adım cevabı.....	51
Şekil 3.31. AA Servomotor için ITSE kriterine göre adım cevabı.....	51
Şekil 3.32. AA Servomotor için ITSE kriterine göre adım cevabı.....	52

**RESİMLER DİZİNİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Servomotor kesiti.....	11

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$c_g$	Global en iyi dereceden etkilenen sosyal etki
$c_p$	Kişisel en iyi dereceden etkilenen sosyal etki
$e(t)$	Verilen giriş değeri ile çıkış arasındaki hata
$\gamma, w$	Atalet momenti
$\gamma_{max}, w_{max}$	Maksimum atalet momenti
$\gamma_{min}, w_{min}$	Minimum atalet momenti
$g_{best}$	Global en iyi derece
$iter_{maks}$	Maksimum iterasyon sayısı
$iter_{min}$	Minimum iterasyon sayısı
$itno$	İterasyon numarası
$k_d$	PID denetimin türev değeri
$k_i$	PID denetimin integral değeri
$k_p$	PID denetimin orantı değeri
$n$	Kuş (parçacık) sayısı
$p_{best}$	Kişisel en iyi derece
$r_1, r_2$	Sisteme stokastiklik (rastgelelilik) katan 0-1 arasında bir sayı
$t_d$	Türev zamanı
$t_i$	İntegral zamanı
$u(s)$	Laplace formunda çıkış sinyal değeri
$v^k$	Anlık hızı
$v^{k+1}$	Bir sonraki hızı
$v^{G_{best}}$	$G_{best}$ tabanlı hız
$v^{P_{best}}$	$P_{best}$ tabanlı hız
$x^k$	Anlık pozisyonu
$x^{k+1}$	Bir sonraki pozisyonu

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AA</b>	Alternatif Akım
<b>DA</b>	Doğru Akım
<b>IAE</b>	Integral of Absolute Error - Mutlak Hataların Toplamı
<b>ISE</b>	Integral of Square Error - Hataların Karelerinin Toplamı
<b>ITAE</b>	Integral of Time Weighted Absolute Error - Zaman Ağırlıklı Mutlak Hataların Toplamı
<b>ITSE</b>	Integral of Time Weighted Squarred Error - Zaman Ağırlıklı Hataların Karelerinin Toplamı
<b>P</b>	Oran Etki ve Orantı Denetim
<b>PD</b>	Orantı Artı Türev Denetim
<b>PI</b>	Orantı Artı İntegral Denetim
<b>PID</b>	Proportional Integral Derivative - Oransal İntegral Türev Kontrol
<b>PSO</b>	Particle Swarm Optimization - Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>TF</b>	Transfer Fonksiyonu

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel imalat işlemlerinde ürün işleme, şekillendirme, taşıma, hareket kontrolü, hız kontrolü, konum kontrolü ve tork kontrolü gibi uygulamalarda genellikle elektrik motorları kullanılmaktadır. Her elektrik motoru istenilen kontrole uygun bir davranış göstermeyebilir. Bu durumda istenilen işleme uygun motor seçimi yapılmalıdır. Otomasyon sistemlerinde mekanik sistemin oluşturulması yapılan işin çeşidine ve işleme özelliğine göre belirlenmektedir. Mekanik sistem elektriksel sistem ile uygun bir yapıya getirildikten sonra otomasyon yapılacak sistemin kontrol süreci başlamaktadır. Bu durumda işlemlerin hassas ve hızlı yapılabilmesi amacıyla sisteme uygulanacak kontrol yöntemi belirlenmelidir. Uygulanacak kontrol yönteminin belirlenmesi içinde sistemin analizinin yapılması gerekir. Analiz süreci, yapılan sistemin matematiksel modelinin çıkartılması buna paralel olarak transfer fonksiyonunun elde edilmesi ve bilgisayar üzerinden yapılan benzetim çalışmalarını kapsamaktadır. Analiz işlemi sırasında ilgili problemin çözümüne yönelik bir optimizasyon algoritmasına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Optimizasyon, bir problem çözümüne yönelik bazı koşullar altında mümkün olan seçenekler içerisinde en iyisini seçme işlemidir. Problem çözümüne yönelik birçok optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen farklı algoritmalar farklı optimizasyon problemlerinin çözümlerini yapmaktadır. Her optimizasyon problemini çok iyi bir şekilde çözebilen bir algoritma yoktur. Kimi algoritma bazı problemleri çözerken, kimi algoritma ise aynı probleme yeterli yanıt verememektedir. En çok bilinen algoritmalar, genetik algoritma, yerçekimi arama algoritması, karınca kolonisi algoritması ve kuş sürüsü algoritması (parçacık sürüsü algoritması) olarak sayılabilir.

Genetik algoritma, Darwin'in evrim teorisinden esinlenilerek geliştirilmiş bir algoritmadır (Tang ve ark., 1996). Geleneksel optimizasyon metotlarına göre oldukça zor olarak kabul edilen çok değişkenli problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Evrim teorisi ile en iyinin hayatta kalması ve zayıf olanın yok olması kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan

çözümler ise elenmektedir (Ortaç ve ark., 2004). Tüm algoritma sonunda tüm bireyler ideal bireye dönüşür (Mazumder ve Runick, 1999).

Yerçekimi arama algoritması (Rashedi, 2009) Newton'un yerçekimi kanunu temel alınarak oluşturulmuş bir algoritmadır. Newton'a göre evrendeki her parçacık bir diğer parçacıkla etkileşim halindedir. Bu etkileşim ilgili iki parçacığın kütlelerinin çarpımıyla doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı şekilde olmaktadır.

Bazen yalnız başlarına mantıklı hareket edemeyen canlılar, birlikte hareket ettiklerinde çok akıllıca davranışlar gösterebilmektedir. Sürüye ait bireyler, en iyi bireyin davranışından, sürüdeki diğer bireylerin davranışlarından ve bireyin kendi tecrübelerinden yararlanarak yorum yapmaktadır ve bu bilgileri daha sonra karşılaştıkları problemlere yanıt olması için bir araç olarak kullanmaktadır (Akyol ve Alataş, 2012). Örneğin, bir canlı sürüsünü oluşturan bireylerden birisi bir av bulduğunda diğer bireyleri haberdar etmek için bir davranış sergileyerek diğer bireylerinde o yöne doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Canlıların sürü içerisindeki bu hareketleri gözlemlenerek sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir. Sürü davranışlarından esinlenerek ortaya çıkartılmış bir çok algoritma bulunmaktadır. Parçacık sürüsü optimizasyonu, ateş böceği algoritması, karınca kolonisi optimizasyonu, kurt kolonisi optimizasyonu, yapay arı kolonisi algoritması, kedi sürüsü optimizasyonu bunlardan bazılarıdır.

Ateş böceği algoritması, Xin-She Yang tarafından geliştirilen ve tropikal iklim bölgelerindeki ateşböceklerinin sosyal davranışlarından esinlenmiş bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Yang, 2009). Bu algoritmada, verimli optimal çözümler elde etmek için, verilen bir optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu, ateşböceği sürüsüne parlak ve daha çekici yerlere gitmede yardım eden yanıp sönen ışık ya da ışık şiddeti ile ilişkili olmaktadır. Bu algoritmada bir ateş böceği ne kadar parlak olursa diğer ateş böcekleri için o kadar çekici hale gelmektedir ve kendisinden daha parlak bir ateş böceği gördüğünde ona doğru gitmektedir. Bütün ateş böcekleri tek

cins olarak kabul edilmekte ve birbirlerini çekmeleri bu algoritmanın temelini oluşturmaktadır (Yang, 2010; Apostolopoulos ve Vlachos, 2011).

İlk olarak 1991 yılında Dorigo ve arkadaşları tarafından ortaya atılmış olan karınca kolonisi optimizasyonu, karınca sürülerinin davranışları incelenerek gerçekleştirilmiş bir algoritmadır (Dorigo ve ark., 1991). Laboratuvar ortamında gerçekleşen deneyde Arjantin karıncalarından oluşan bir koloniye buldukları yuva ile yiyecek arasında farklı uzunluktaki iki koldan oluşan bir köprü yerleştirilmiştir. Belirlenen yollardan birinden ilk geçen karınca yola feromon adı verilen bir koku bırakmaktadır. Aynı karınca diğer yoluda denemektedir ve bundan sonraki yolculuklarını hep kısa yoldan yana yaptığı görülmektedir. Yapılan deney neticesinde ilk birkaç dakikalık geçiş aşamasının ardından karıncaların tamamı en kısa yolu kullanmaya başlamışlardır. Köprünün kolları arasındaki fark arttırıldığında koloninin kısa yolu seçme olasılığının arttığı gözlemlenmiştir.

Kurt kolonisi algoritmasında kurt kolonisinin sıkı bir organize sisteme sahip olmasından esinlenilerek geliştirilmiştir. Kurtlar yapılacak görevleri diğerleriyle bölüşmektedirler ve avlandıkları zaman tutarlı adımlar atmaktadırlar. Az miktarda yapay kurt aktif olduğu av aralığında aramaya atanmaktadır. Arama kurtları avı keşfettiği zaman, avın konumunu diğer kurtlara ulumayla bildirmektedir. Diğer yapay kurtlar ava yaklaşmakta ve avı kuşatmaktadır. Kurt kolonisinin atanma kuralı, yiyeceğin ilk olarak güçlü kurda atanması ve daha sonra zayıf olana atanmasıdır. Kurt koloni algoritması bu davranışların taklit edilmesiyle geliştirilmiştir (Liu ve ark., 2011).

Üniversal motorlar, servomotorlar, step (adım) motorlar, sincap kafes rotorlu motorlar, sargı bilezik rotorlu motorlar, senkron motorlar, asenkron motorlar endüstride yaygın bir şekilde kullanılan motorlardır. Bu motorlar içerisinde servo ve step motorlar konum kontrolleri gerektiren uygulamalarda diğerlerinden daha fazla kullanılır. Konum kontrolü için seçilen motorun hassas kontrolleri yapmaya izin vermesi ve oluşacak olan pozisyon hatasını sisteme bildirip sistemin hata verip



vermediğini sistemin kendisinin kontrol etmesine müsaade etmesi gerekmektedir (Işık, 2002).

Adım motorları açık-çevrim kontrol tarzında gerçekleştiğinden pozisyon hatasına neden olacaktır. Bu sebeple genellikle küçük tipteki mekanik sistemlerde tercih sebebidir. Ancak sürtünme kayıplarının çok olduğu büyük sistemlerde servomotorlar kullanılır. Servomotorlarda kullanılan geri besleme potansiyometresi ile pozisyon hatası engellenecektir. Ek olarak motorun kalkma ve durma anında, motorun kontrolünü daha yumuşak biçimde gerçekleştirmek kolaydır (Özkan, 1999).

Kontrol işlemi, kullanılacak uygulamanın hassasiyetine göre çok daha fazla önem kazanmaktadır. Hassas işlemler için kullanılacak olan servomotorların çalışması esnasında geri besleme ile mümkün olabilecek en az hata ile çalışması sağlanmalıdır. Bu da sisteme uygulanacak olan optimizasyonun çok iyi olmasına bağlıdır.

Geri besleme ile giriş ile çıkış arasındaki hatayı minimize etmek için bu çalışmada Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. PSO içerisinde bulunan dört farklı kriter ile hatanın yok edilmesine çalışılmıştır.

Kennedy ve Eberhard 1995 yılında yaptıkları çalışma ile yeni bir optimizasyon yöntemi olan parçacık sürüsü optimizasyonu ilk defa ortaya atmışlardır.

Junfeng Chen ve arkadaşları 2006 yılı Uzay ve Havacılık alanında kontrol sistemleri isimli konferansta Adaptif mutasyon ve uygulama araştırması alanında PID parametreleri parçacık sürüsü optimizasyonu ile bulunmuştur.

Seçkin Tamer ve Cihan Karakuzu'nun 2006 yılında yaptığı çalışmada parçacık sürüsü optimizasyonu ve benzetim örnekleri ele alınmıştır.

Önder Belgin 2007 yılında yaptığı yüksek lisans tezinde parçacık sürüsü optimizasyonu ve diğer çeşitli sezgisel yaklaşımlar hakkında bilgiler vermiştir.

Dong Hwa Kim 2007 yılında yaptığı çalışmada üç fazlı indüksiyon motorunun genetik ve parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı vektör kontrolü yapmıştır.

Brahim Allaoua ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışma ile DA motor hız kontrolü için parçacık sürüsü optimizasyonundan aldıkları PID değerlerini kullanmışlardır.

Haluk Gözde ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışma ile iki bölgeyi ısıtmalı termal güç sisteminin yük-frekans kontrolü için PI kontrol uygulanmıştır ve PI kontrol için parçacık sürüsü optimizasyonundan aldıkları veriler kullanılmıştır.

Serdar Özyön ve arkadaşları 2011 yılında gerçekleştirdiği çalışma ile parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasını termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulamıştır.

Bu çalışmada parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılarak AA servomotor denetimi yapılmıştır. Bu denetim MABLAB R2012a programında simule edilmiştir. AA servomotor ve parçacık sürüsü optimizasyon detaylı olarak anlatılmış ve sayısal örnek ile konu pekiştirilmiştir.

İkinci bölümde servomotor yapısı ve çalışma prensibi hakkında bilgiler verilmiş ve AA servomotor üzerinde detaylıca durulmuştur. Çalışmada kullanılan AA servomotorun karakteristik özelliklerini içeren tablo verilmiştir.

Parçacık sürüsü optimizasyonu detaylı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde bu algoritmanın formülasyonu ve bu formülasyondaki terimlerin açıklanması, PSO akış diyagramı, vektörel olarak gösterimi, iterasyonların algoritma üzerindeki etkisi gibi konular üzerinde durulmuştur. Ayrıca parçacık sürüsü optimizasyonundaki 4 kriter olan IAE, ITAE, ISE ve ITSE kriterleri açıklanmış ve birbirlerine göre avantajları, dezavantajları anlatılmıştır. Daha sonra AA servomotorun transfer fonksiyonu Ziegler-Nichols yönteminde ele alınmıştır.  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  değerleri ve maksimum aşma

miktarı, yükselme ve yerleşme zamanı, kararlı durum hatası gibi parametreler tablolar halinde verilmiştir.

PID denetim ve temel özellikleri anlatılmıştır. PID kontrolörün blok diyagramı, P denetim, PI denetim, PD denetim, PID denetim detaylı olarak ele alınmıştır.

Ziegler-Nichols yöntemi ele alınmıştır. Açık ve kapalı çevrim ayar parametreleri anlatılmış ve çizelgeler halinde verilmiştir.

Üçüncü bölümde AA servomotorun transfer fonksiyonundaki parametrelerin sayısal değerleri yerlerine konularak PID denetim ile çarpılarak çıkan değerler geri besleme yapılarak giriş ile çıkış arasındaki doğruluk kontrol edilmiştir. PID denetim, kendi bünyesinde barındırdığı  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerini parçacık sürüsü optimizasyonundan sağlamıştır. PSO daki 4 kriter ile de aynı problem çözülerek bu kriterlerin sağladığı  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerleri, ortaya çıkan hatalar toplamı ve geçen süreler tablolar halinde verilmiştir. Buna ek olarak 4 kriterin verdiği sonuçlara bağlı olarak ortaya çıkan adım sinyali ve bu sinyalin karakteristikleri tablo halinde verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise yapılan uygulamadan elde edilen veriler, kıyaslamalar yapılarak anlatılmıştır. Ayrıca bu çalışma ile daha sonra yapılacak çalışmaların bağlantısı anlatılmıştır.

## 2. LİTERATÜR

### 2.1. Servomotorlar

Motor güç mili dışında, rotorun konumunu ya da hızını belirlemek maksadıyla bir çıkış mili daha olan ve bu mile bağlı enkoder, potansiyometre vb. elemanlar ile geri besleme alınabilecek bir çıkışı olan motorlara servomotor denir (Gören, 2011).

Servomotorların bazı tipleri fırçalı bazıları ise fırçasız imal edilmektedir. Bunlardan DA (Doğru Akım) servomotorlar fırçalı, AA (Alternatif Akım) servomotorlar ise fırçasızdır. Dijital kontrollü, hassas işleme ya da çalışma istenilen makinelerde çok tercih edilen servomotorların bazı özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Anonim, 2011).

- ✓ Döndürme momentleri yüksektir.
- ✓ Döndürme momentinin iki katına kadar olan değerlere kısa süreli olarak yüklenebilirler.
- ✓ Atalet (kalkış) momentleri küçüktür ve verilen komutları gecikme olmadan algılar ve yerine getirirler.
- ✓ Çok sık aralıklı olarak hareket edebilirler. Yani dur-kalk yapma sayılarının çok olması motoru olumsuz etkilemez.
- ✓ 1–10000 devir / dakika arasındaki devir sayılarından herhangi birisine kolayca ayarlanabilir.

#### 2.1.1. DA servomotorlar

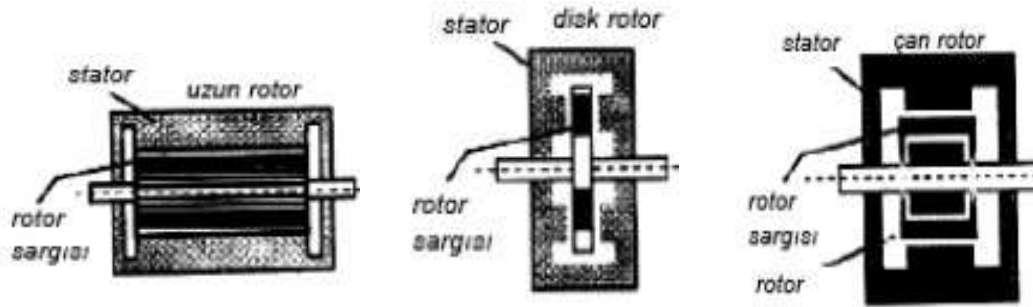
DA servomotorlar, genel olarak bir DA motor olup, motora gerekli DA akımı çeşitli yollarla elde edilir. Bunlar;

- ✓ Bir elektrik yükselteci,
- ✓ AA akımın doyumlu reaktörden geçirilmesi,
- ✓ AA akımın tristörden geçirilmesi,
- ✓ Amplidin, retotrol, regüleks gibi dönel yükselteçler

ile elde edilir (Anonim, 2011).

DA servomotorlar, 0,05 Hp gibi çok küçük güçlerden 1000 Hp gibi çok büyük güçlere kadar imal edilirler. Bu motorlar, küçük yapılıdır ve endüvileri (yükseklik\*uzunluk/çap oranıyla) kutup ataleti momentini minimum yapacak şekilde tasarlanmaktadır (Anonim, 2011).

DA servomotorlarda, kutuplarda manyetik alanı elde etmek için DA kaynak kullanılırken, endüviye ise değişken bir gerilim verilir. Bu iki gerilimin dolaştırdığı akımların oluşturduğu manyetik alanlar birbirini itmesi ile motor dönmeye başlar. DA servomotorların endüvileri çeşitli biçimlerde olabilmektedir. Şekil 2.1’de uzun, disk ve çan şeklindeki rotorların yapısı görülmektedir. Rotoru disk şeklinde olan servomotorlar, kısa ve hafif olduklarından dolayı robot eklemlerinde hareket elemanı olarak kullanılabilir. İnce ve uzun rotorlu servomotorların boyutları çok küçük olduğundan bunları her ortama monte etmek kolaydır. Çan tipi rotorlu servomotorlar ise 3000 d/dk gibi yüksek hızlara kısa sürede ulaşabilme özelliğine sahiptir (Anonim, 2011).



**Şekil 2.1-a.** Uzun rotorlu **Şekil 2.1-b.** Disk rotorlu **Şekil 2.1-c.** Çan rotorlu DA servomotorların yapısı

DA servomotorlarda, yüksek bir dönme momenti ve aşırı yüklenebilirlik elde etmek için güçlü bir manyetik alan oluşturulması gerekir. Özellikle hızlı tepkili servomotorlar için motor mili içerisinde demir bulunmayan doğru akım motorları kullanılır (Anonim, 2011).

### DA servomotorların yapısı

DA servomotorlar, klasik DA motorlarda olduğu gibi endüktör (kutup), endüvi, fırça, kolektör ve gövdeden meydana gelmektedir.

### DA servomotorların çalışması

Motorun dönme hareketi endüktör salgularına uygulanan DA akımın oluşturduğu manyetik alan ile aynı DA akımının fırça ve kolektörden geçirilerek endüvi sargısına uygulanması sonucu oluşan endüvideki manyetik alanın etkisi sonucu meydana gelmektedir. Endüktördeki döner manyetik alanın etkisi ile endüvinin dönmesi sağlanır (Anonim, 2011).

### DA servomotorların özellikleri

- ✓ Enerji kısımları, asıl motorlara göre daha az enerjiye ihtiyaç gösterir.
- ✓ Motor çapı, normal DA motorlara göre daha küçüktür.
- ✓ Servomotorların boyları uzundur.
- ✓ Rotorun dönme momenti rotor çapına bağlı olarak değişir. (boylarının uzun olmasının sebebi budur).
- ✓ Atalet momenti küçüktür.

### DA servomotorların çeşitleri

Servomotorlar, bir servo sistemde çalışırken ya endüvisi ya da kutupları kontrol edilir. Kutuplar ya gerilim kaynağından ya da akım kaynağından beslenir. Her iki tür uygulama da farklı bir hız-tork karakteristiğinin ortaya çıkmasına sebep olur (Anonim, 2011).

Endüstride daha çok dört tip DA servomotor kullanılır. Bunlar:

- ✓ Alan kontrollü servomotorlar
- ✓ Endüvi kontrollü servomotorlar

- ✓ Seri ayırık alanlı servomotorlar
- ✓ Sabit mıknatıslı - endüvi kontrollü servomotorlar

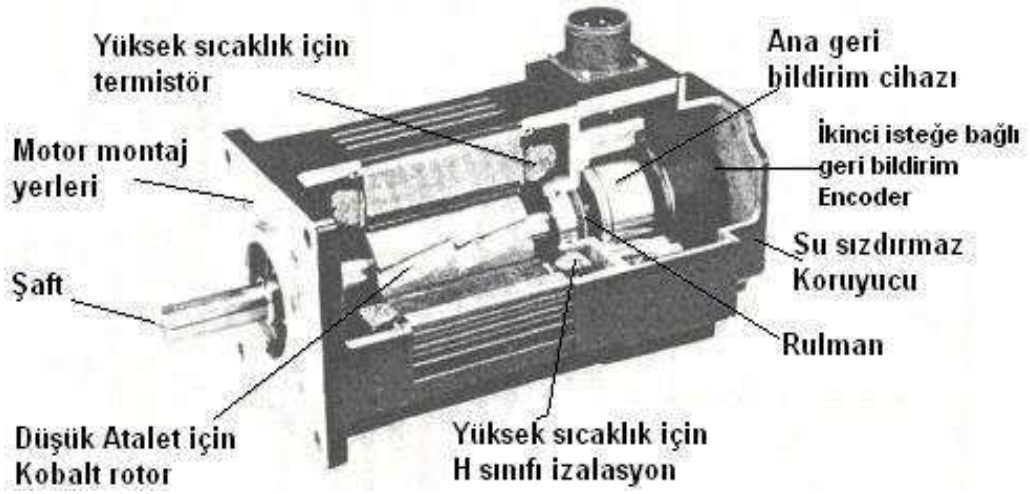
### 2.1.2. AA servomotorlar

AA servomotorlar, genellikle iki fazlı sincap kafesli indüksiyon tipi motorlardır. İki fazlı asenkron motorlar, büyük güçlü yapılmakla birlikte genellikle otomatik kontrol sistemlerinde kullanılmak amacı ile küçük güçte yapılır. Fırça ve kolektör bulunmadığından arıza yapma ihtimalleri az, bakımları ise kolaydır (Anonim, 2011).

#### AA servomotorların yapısı

İki fazlı servomotorun statorunda eksenleri arasında  $90^0$ 'lik elektriksel açı olan kontrol ve referans sargısı olmak üzere iki tane sargı vardır. Rotoru ise sincap kafesli sargı taşır, ancak yüksek dirence sahip olması gibi birtakım özellikler kazandırılmıştır.

Büyük güçlü AA servomotorlar iki veya üç fazlı olarak üretilmektedir. Bu tip motorların rotorları, doğal mıknatıslı ya da kısa devre çubuklu olmaktadır. Üç fazlı servomotorların hız kontrolü, pals frekans çevirici devresi üzerinden PWM olarak adlandırılan pals genişlik modülasyonu devreleriyle yapılmaktadır. 1-10 W gibi küçük güçteki AA servomotorlar ise minik boyutlu olarak iki faz ile çalışabilecek şekilde üretilir. Bunların iç yapısında aralarında,  $90^0$  elektriksel açı yapacak şekilde yerleştirilmiş iki bobin ve sincap kafesine benzer rotor vardır. Servomotorların rotorları, savrulma ve atalet momentlerinin küçük olabilmesi için uzun; çapları ise küçük yapılır. Stator sargılarına uygulanan gerilimlerin frekansı 50, 60, 400, 1000 Hz olabilmektedir (Anonim, 2011). Resim 2.1'de servomotorun kesiti görülmektedir.



**Resim 2.1.** Servomotor kesiti

İki fazlı servomotorların sargılarının biri referans, diğeri ise kontrol sargısı olarak da adlandırılır. Referans sargısına sabit değerli, sabit frekanslı alternatif akım uygulanır. Kontrol sargısına ise yükselteç devresinden gelen kontrol gerilimi verilir. Kontrol sargısına uygulanan akım, faz kaydırma devreleriyle  $90^0$  kaydırılarak uygulanır. İki sarımda oluşan manyetik alanlar sonucunda rotor döner (Anonim, 2011).

Standart bir servomotor stator, rotor, konum ve hız algılayıcı sensörden ibarettir. Aşağıda bu bileşenler kısaca tanıtılmaktadır.

#### *Stator*

Motorun sabit kısmıdır. İnce silisyumlu sacların birleştirilerek paketlenmesiyle stator nuvesi meydana gelir. DA makinaların indüktörüne benzemektedir. Üç fazlı döner manyetik alan sargıları burada bulunup döner manyetik alan bu kısımda oluşmaktadır. Asenkron motorun statoru; gövde, stator-sac paketleri ve stator sargılarından oluşmuştur (Küçükşille, 2002).

#### *Rotor*

Motorun dönen kısmıdır. Sargı tipine göre; kısa devreli rotor (Sincap kafesli rotor) ve sargılı rotor (Bilezikli rotor) olmak üzere iki çeşit rotor vardır. Her ikisi de üzerine



oluklar açılıp paketlenmiş silisli sacların bir mil üzerine sıkıca yerleştirilmesinden meydana gelmiştir.

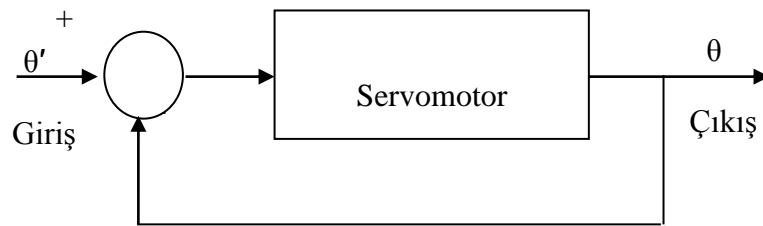
### *Sensörler*

Servomotorlarda sensörler iki temel amaç için kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi rotor pozisyonunun algılanması ve diğeri ise dönme hızının ölçülmesidir. Genellikle servomotorlarda döner kodlayıcılar ve fırçasız resolverler kullanılır. Kodlayıcıların maliyetinin düşük olması nedeni ile en fazla kullanılan pozisyon sensörüdür (Mamur, 1996).

### AA servomotor karakteristikleri

Servomotorlar kullanımları gereği çok sık şekilde ivmelenme ve yavaşlatma işlemlerine maruz kaldıklarından, maksimum moment değerleri anma moment değerlerinden daha fazla olmalıdır. DA motorlarda anma momentlerinin aşılması durumunda komütatör aksamında kıvılcımlaşma olayı gözükür. Aynı şekilde hız arttıkça moment değeri de çok hızlı bir şekilde düşer. AA servomotorlarda ise yukarıda bahsedilen kıvılcımlanma olayı, yapısı dolayısıyla görülmez. Fırçasız servomotorlar maksimum momenti düşürmeden yüksek hız limitlerinde çalıştırılabilirler.

Servomotorların genel çalışma sistemine ait blok diyagram ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Coşkun ve Işık, 2004).



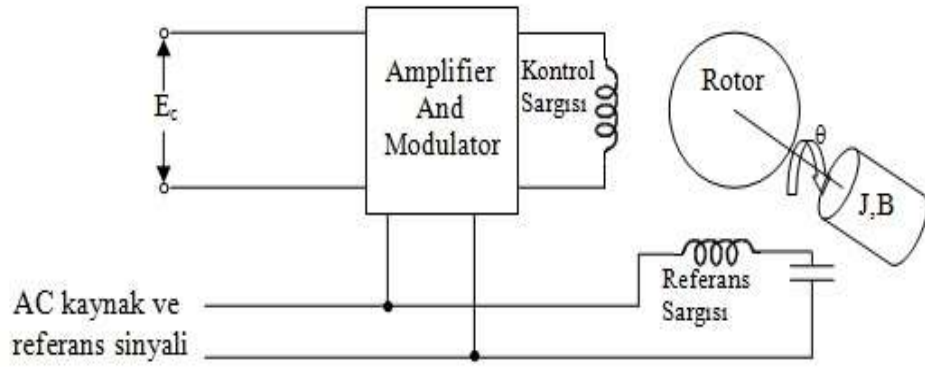
**Şekil 2.2.** Servomotor çalışma sisteminin blok diyagramı

Pozisyon kontrolü aşamasında pozisyon açısı  $\theta$ , istenilen pozisyon  $\theta'$  olarak ele alınır. Bu aşamada üreteceği sinyalin büyüklüğü açı olarak

$$\Delta\theta = \theta' - \theta$$

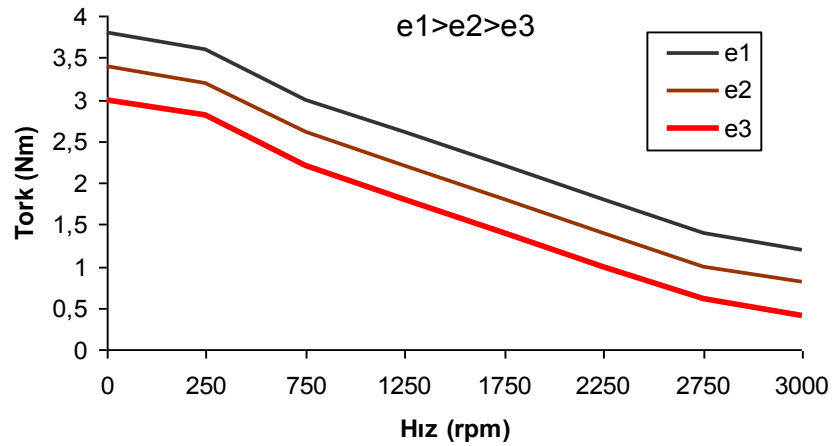
olur (Le-Huy ve Hamdi, 1993).

Servomotorun sembolik gösterimi ise Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. AA Servomotorun sembolik gösterimi

AA servomotor yük altında çalıştığında Şekil 2.4'te verilen hız - tork karakteristiğine göre hızın artması ile tork azalmaktadır. Hız sıfırken torkun yüksek olması, ani hızlanmaları sağlanması bakımından servomotorlar için gereklidir. Şekil 2.4'ten görülebileceği gibi kontrol gerilimi ( $e$ ) artırıldığında tork artmaktadır (Kani, 1999).



Şekil 2.4. Servomotorun tork - hız karakteristiği

### AA servomotorun Kontrolü

AA servomotorların kontrolü denince akla geri besleme gelmektedir. Geri besleme içinde çeşitli elemanlar vasıtası ile veriler alınmaktadır. Bu elemanlar rotor pozisyonu algılayıcı, hız algılayıcı ve kodlayıcılardır.

#### *Rotor Pozisyonu Algılayıcılar*

Rotor pozisyonu algılayıcı devresi, rotora monte edilen kodlayıcı sinyallerini algılayan ve bu dijital bilgileri kendisinden sonra gelen sinüs-dalga üretim devresi tarafından kullanılacak sinyaller şekline dönüştüren bir devredir. Eğer rotora monte edilen kodlayıcı 8 bitlik mutlak kodlayıcı ise rotorun bir tam dönüşünde 256 farklı kod kodlayıcıdan rotor pozisyonu algılayıcısına gönderilir (Mamur, 1996).

#### *Hız Algılayıcılar*

Genellikle DA servomotorda hız algılayıcı olarak takojenaratör (TG) kullanılır. Bununla birlikte takojeneratörde fırçalar vardır ve fırçaların bakımı problem teşkil eder. AA servomotorlarda pozisyon algılama elemanı olarak genellikle kodlayıcılar (enkoder) kullanılmaktadır (Mamur, 1996).

#### *Kodlayıcılar*

Artımsal kodlayıcılar geri-beslemeli kontrol sistemlerinde pozisyonların teyidi ve geri-besleme sinyallerinin üretilmesinde kullanılır. Genel olarak mutlak ve artımsal olmak üzere iki tiptedirler. Artımsal kodlayıcılar mutlak kodlayıcılara oranla ucuz olmaları ve yapılarının basit olması sebebi ile tercih edilmektedir (Kuo, 1978; Hurmalı, 1992).

Tipik bir kodlayıcıda A B ve Z şeklinde üç farklı sinyal çıkışı mevcuttur. Bunlardan A ve B fazına ait sinyaller, aralarında  $90^0$  faz farkı olan iki sinyaldir. Z sinyali ise referans sinyali olarak adlandırılır ve sayıcıyı reset etmekte veya bir dönüşe ait

mutlak pozisyon bilgisinin belirlenmesinde kullanılır. Bununla birlikte bazı artırimsal kodlayıcı mekanizmaları A B ve Z sinyallerine ek olarak bunların değillerini de çıkış olarak veren yapıda yapılmaktadır. Kodlayıcıdan elde edilen çıkış darbeleri mutlak pozisyon bilgisini göstermez. Kodlayıcının verdiği darbe sayısı bağlı olduğu shaftın dönme miktarı ile orantılıdır. Eksen dönme miktarının mutlak değeri kodlayıcıdan alınan çıkış darbelerinin bir sayıcı devresi kullanılmak suretiyle depolanması ile elde edilir.

Kodlayıcıdan alınan darbe sayısının düşük olduğu kodlayıcı çıkış darbeleri 4 ile çarpılmak suretiyle darbe sayısı artırılır ve sonra bu darbeler sayma işlemine tabi tutulur.

### Artırımılı Enkoder

Döner enkoderler fotoelektriğe dayalı tarama prensibi ile çalışır. Ölçme belirli bir standartta taksimatlandırılmış disk üzerinden yapılır. Disk üzerinde dairesel olarak dağılan taksimat çizgileri ve boşlukları vardır. Koyu tonlu bu çizgiler ile boşluklar aynı genişliktedirler. Çizgiler arkasını göstermeyecek şekilde koyu, boşluklar ise şeffaf olacak şekilde özel bir cam alaşım üzerine yerleşmişlerdir (Babaoğlu, 2002).

Diskin yüzeylerinden birinde ışık kaynağı, diğer yüzeyinde ise iki ışık dedektörü vardır. Işık kaynağı ve arada kullanılan bir mercek grubu ile ışık taksimatlandırılmış diske dönüştürülerek dedektörler tarafından algılanması sağlanır.

Bu disk taksimatları dışında bölüm dairelerinin alt kısmında referans konum işareti taşımaktadır. Dedektörlerin yeri önemlidir. Biri karanlıkta ışığa geçişi okurken, diğeri değişimi algılayamaz. Yapısından dolayı iki dedektör her bölmedeki dört değişimi verir ve her değişim shafttaki açısal pozisyonu gösterir. Değişimlerin sayılmasıyla çizgi sayısı dört ile çarpılır. İki dedektör, bağlı konumun dönme yönünü algılamakta da önemlidir. Bir dedektör değişimi algıırken diğeri sabit kalır ve yön değişimi çözer. Bir yön beyazdan siyaha diğer yön siyahtan beyaza olarak algılanır. Genelde dedektörlerden birinin çıkışı A diğerinin çıkışı B kanalı olarak tanımlanır. A

kanalı B kanalına saat yönünde yol gösteriyorsa yani enkoder şaftı saat yönünde döndüğünde A B'den önce açılır ve A B'den önce kapanır. Her iki kanaldaki değişimler dijital (sayısal) sayıcı tarafından sayılır. İstendiğinde bir z kanalı ile bir referans noktası da tanımlanabilir.

### Mutlak Enkoder

Ölçme için standart bir cam disk kullanılır. Bu disk taksimatlandırılmış ve kodlanmıştır. Tarama prensibi artırımı enkoderlerle aynı olmakla birlikte daha fazla sayıda bölüme (hücreye) sahiptir. Mutlak enkoderler herhangi bir sayıcı, konum belirleyici, dönme, yönünü çözerek elektronik bir çevrime ihtiyaç duymaz. Ölçülen değerler direkt olarak taksimatlandırılmış disk üzerindeki modeller üzerinden alınır ve çıkışlar kodlanmış sinyaller olarak gönderilirler. Mutlak enkoderler tek dönüşlü ve çok dönüşlü tipleri ile ikiye ayrılır (Babaoğlu, 2002).

- Tek dönüşlü enkoderler; Belirli bir duruş sayısında bir tur çizer ( $0^0$ - $360^0$ ). Bir dönüşten sonra konum değerleri tekrarlanır.

- Çok dönüşlü enkoderler; Sadece bir turun üzerindeki açısal konumları çözmekle kalmaz, aynı zamanda birkaç turu ayırt edilebilir. Bu kabiliyeti enkoder şaftına bağlanmış ve kodlanmış disklerin eklenmesiyle yapar.

Çok dönüşlü mutlak enkoderler vidalı mil, kramayer dişli mekanizmaları kullanılan lineer mekanizmalarda lineer hareketleri ölçmek için de kullanılırlar.

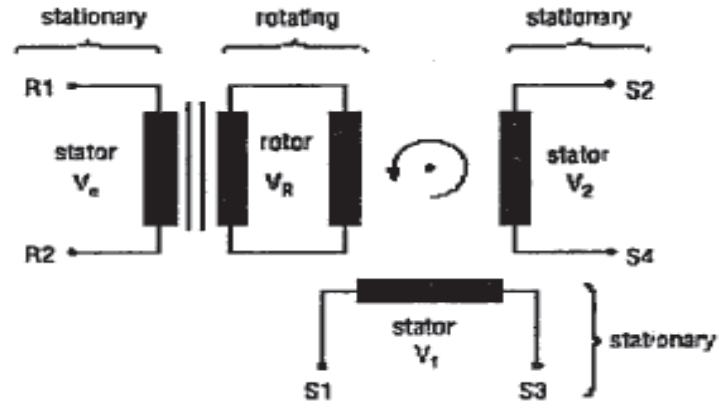
Enkoderler yüksek sıcaklık, vakum, radyasyon, titreme ve sallama gibi kötü koşullardan etkilenirler.

### Resolver

İki sekonder, bir primer sargıya sahip küçük bir transformatör modelindedir. Mildeki

açı değişimi primer ve sekonder sargılar arasındaki kutuplaşma ve oranına bağlıdır. Bu özelliği ile döner rotary transformatör olarak adlandırılır.

Rotora ve statora bağlı olarak, resolver sürekli olarak motor rotorunun açısal pozisyonunu ölçer. Sekonderler stator üzerinde konumlandırılmış ve bağlanmıştır. Sekonderler stator üzerinde birbirlerine göre  $90^0$  lik açı ile bağlıdırlar. Primer ise resolver şaftına yani rotora bağlıdır. şekil 2.5'te bir resolverin blok şeması gösterilmiştir.



şekil 2.5. Resolver blok şeması

Primerde bir AA giriş (input) referans gerilimi oluşturulduğunda statordaki çıkış (output) sinyali aynı frekansta ancak mekanik yapısından dolayı  $900$  faz farkı oluşur. Bir çıkış sinüs ise diğeri kosinüs (sinüse göre  $90^0$  faz farkı olan) olacaktır.

Resolverdeki en önemli karakteristik sekonderdeki tepe noktası gerilimidir. Tepe noktası gerilimi resolver şaftının hareketine göre değişir.

Gerilim kutupsallığı şaftın konumunun çözülmesinde kullanılır. şaft  $90^0$  üzerinde döndürülünce sinüs kutbu olarak adlandırılır. (Sinüs ve kosinüs) aktarılan bilgi analogdan dijital bilgi dönüştürücüsü kullanılarak dijital formata çevrilir. Mil kadranında iki bit işaret eder, kalan bit'ler kadran kenarından şaft açısını verir. Güçte iken, çevrim süreci ile şaftın pozisyonunu takip ederek bulur ve kontrollere hızlı bir şekilde yollar.

Resolver kendi içinde elektronik bir komponent içermez, yüksek çevre sıcaklıklarında çalışabilir. Resolver ağır çevre şartlarını içeren uygulamalar için idealdir. Resolver rotoru direkt olarak motor shaftına bağlanmıştır, bu da bize değer ve pozisyon sinyali olarak güvenli ve doğru bir ölçme sistemi sunar. Çizelge 2.1 de bir enkoder ile resolver'in bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Bir resolver enkodere göre daha sağlam, güvenli bir yapıya sahiptir ancak daha düşük doğruluk verir.

**Çizelge 2.1.** Enkoder ile resolverin karşılaştırılması

	<b>Enkoder</b>	<b>Resolver</b>
<b>Standart Çözünürlük (/dev)</b>	32 640	16 384
<b>Maks. Hız (/sn)</b>	2 448 000	500 000
<b>Doğruluk (arc-dak.)</b>	1,5/10	15,0/7,0
<b>Cevap verme süresi</b>	<1	15
<b>Şok toleransı</b>	5	50
<b>Sıcaklık aralığı (°C)</b>	0'dan 10°C	-55'den 175°C

## 2.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

Kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları gözlemlenerek geliştirilmiş bir algoritma olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) 1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından ortaya atılmıştır. Parçacık sürüsü optimizasyonuna aynı zamanda kuş sürüsü optimizasyonu da denilmektedir (Kennedy ve Eberhart, 1995).

Bu algoritmada; balık ve kuş sürüleri yiyecek ya da barınak bulmak amacıyla belirli bir alan taramaktadırlar. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), bu sürülerin sosyal davranışlarından oluşur. Bu davranışlardan ilki sürü içerisindeki her bir parçacığın geçmiş hatıraları içerisinde en iyi konuma gitme davranışıdır. İkinci davranış ise sürü içerisinde bulunan yiyeceğe en yakın parçacığı takip etme hareketidir. Son davranış ise parçacığın geniş alan taramasını sağlayan geçmiş hız değerleridir. Bu davranışlar PSO'nun temelini oluşturmaktadır (Çura, 2008).

PSO algoritması rastgele çözümler içeren bir popülasyonla başlar ve her iterasyonda güncelleme yaparak optimum yanıt vermeye çalışır. Sürü içerisindeki her bir kuş bir cevabı temsil etmektedir. Aynı zamanda her bir kuş bilinmeyen sayısı kadar yanıt üretmektedir. Verilen cevaplar o kuşun o andaki pozisyonu anlamını taşımaktadır. Her bir kuş o andaki ve önceki pozisyonlarını hafızasında tutarak o ana kadarki en iyi pozisyonu belirler ve bu pozisyona  $p_{best}$  adı verilir. Yine algoritma tüm kuşların  $p_{best}$ 'lerini kontrol ederek tüm sürünün en iyi pozisyonu olan  $g_{best}$ 'i belirler. İterasyon sayısı kadar döngü gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkan  $g_{best}$  değeri sürünün o probleme verdiği en iyi sonuç olarak ortaya çıkar.

Örneğin, S boyutlu bir arama uzayında hareket eden T adet parçacığın hız ve konumları aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Burada, X konumu V ise hızı ifade eder.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \dots & X_{1S} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \dots & X_{2S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{T1} & X_{T2} & X_{T3} & \dots & X_{TS} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1S} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \dots & V_{2S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{T1} & V_{T2} & V_{T3} & \dots & V_{TS} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Eşitlik 1'deki matriste, i'nci parçacık  $X_i = [X_{i1} \ X_{i2} \ \dots \ \dots \ X_{iN}]$  olarak ifade edilir. Kişisel en iyi konumu ( $p_{best}$ ) veren matris ise eşitlik 3'deki gibidir.

$$P_{best} = \begin{bmatrix} Pbest_{11} & Pbest_{12} & \dots & Pbest_{1S} \\ Pbest_{21} & Pbest & \dots & Pbest_{2S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Pbest_{T1} & Pbest_{T2} & \dots & Pbest_{TS} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitlik 3' de her bir satır; bir parçacığın S boyutlu arama uzayındaki kişisel en iyi konumlarıdır. Global en iyi pozisyon ( $g_{best}$ ) ise tüm  $p_{best}$  ler arasındaki en iyi konum olarak adlandırılır ve matris formu eşitlik 4'teki gibidir.



$$G_{best}=[gbest_1 \quad gbest_2 \quad \dots \quad gbest_s] \quad (4)$$

Parçacık sürüsü algoritması kavramsal olarak, parçacıkların hızlarının her bir nesilde kendi yerel en iyi konumlarına ve sürünün global en iyi konumuna göre belirlenmesine dayanır. Evrimsel gelişim süresinde her bir parçacığın hızı ve konumu eşitlik 5 ve 6 ile güncellenir (Gözde ve ark., 2008).

$$v_{i,d}^{(t+1)} = w * v_{i,d}^{(t)} + c_1 * r_1 * (pbest_{i,d} - x_{i,d}^{(t)}) + c_2 * r_2 * (gbest_d - x_{i,d}^{(t)}) \quad (5)$$

$$x_{i,d}^{(t+1)} = x_{i,d}^{(t)} + v_{i,d}^{(t+1)}; \quad (6)$$

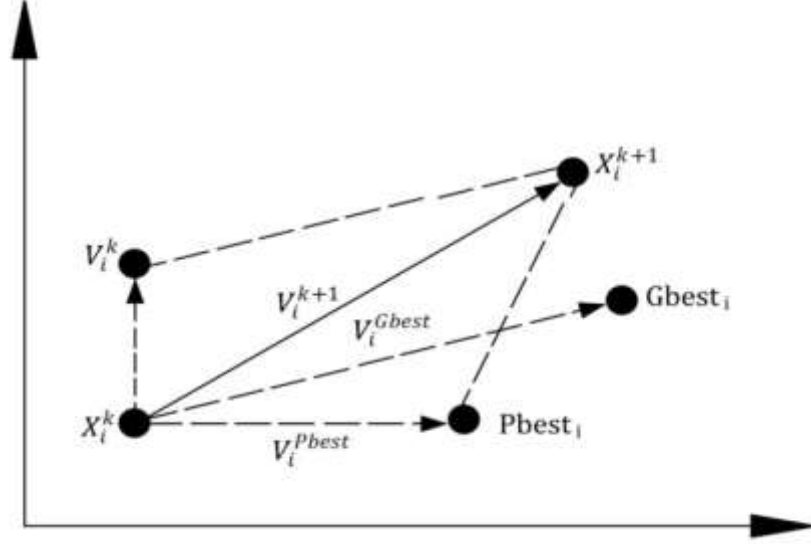
$$i = 1, 2, \dots, t \quad ; \quad d = 1, 2, \dots, s$$

Eşitlik 5'deki  $c_1$  ve  $c_2$  sabitleri pozitif değerli olup  $c_1$   $p_{best}$ ,  $c_2$  ise  $g_{best}$  etkisi ile oluşan katsayılarıdır ve bu katsayılar sosyal etkiler nedeniyle oluşmaktadır.  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri genellikle 0,2 ile 2 arasında değişmektedir.  $r_1$  ve  $r_2$  katsayıları rastgele sayılardır ve her iterasyonda yenilendiğinden probleme verilen yanıtta bir rastlantısallık (rassal) katmaktadır.  $r_1$  ve  $r_2$  katsayıları 0 ile 1 aralığında değişmektedir.  $w$  ise atalet momenti olup, genellikle 0,1 ile 1 aralığında değişmektedir (Chen ve ark., 2006; Kim, 2007; Jalilvand ve ark., 2008; Kim ve Hirota, 2008; Özyön, 2011). PSO'da eylemsizlik ağırlığı global ve yerel arama yeteneğini dengelemek için kullanılmaktadır. Büyük eylemsizlik momenti global arama, küçük eylemsizlik momenti ise yerel arama yapmayı kolaylaştırır. Böylece eylemsizlik momenti yerel ve global araştırma arasındaki dengeyi sağlar ve en az sayıdaki iterasyonla sonuca götürmeyi amaçlar. Buradaki her bir parçacık; sürüdeki sadece en iyi parçacığın değil sürüdeki diğer tüm parçacıkların tecrübelerinden de yararlanmış olur (Tamer ve Karakuzu, 2006).

$w$ 'nın doğrusal azaltılması eşitlik 7' deki ifade ile sağlanır (Kennedy ve Eberhart, 1995).

$$w = w_{maks.} - iter * \frac{w_{maks.} - w_{min.}}{iter_{maks.}} \quad (7)$$

PSO'da parçacıklar (kuşlar) çoklu arama uzayında iterasyon tamamlanana kadar pozisyonlarını değiştirirler. PSO'da arama uzayındaki değişimler Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Allaoua ve ark., 2009).



Şekil 2.6. PSO parametrelerinin vektör olarak gösterimi

Burada;

- $x^k$  : anlık pozisyonu
- $x^{k+1}$  : bir sonraki pozisyonu
- $v^k$  : anlık hızı
- $v^{k+1}$  : bir sonraki hızı
- $v^{Pbest}$  :  $p_{best}$  tabanlı hızı
- $v^{Gbest}$  :  $g_{best}$  tabanlı hızı ifade etmektedir.

### 2.2.1. Parçacık sürüsü optimizasyonunun ana parametreleri

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu; problem boyutu, kuşların sayısı, hızlanma katsayıları, eylemsizlik ağırlığı, komşu sayısı, bilişsel ve sosyal katkılarını belirleyen rassal değerler gibi birçok kontrol parametresinden oluşmaktadır (Belgin, 2007).

Bunlar:

Sürünün büyüklüğü: Sürüde yer alan kuşların sayısıdır. Sürüde daha fazla kuşun yer alması demek sürünün başlangıçta daha fazla nokta araştırması demektir. Diğer bir ifadeyle, düzgün dağılmış bir başlangıç şeması elde edilebilir. Fazla sayıda kuşun olması her iterasyonda daha fazla sayıda arama noktasına ulaşılabilmesini sağlar. Bunun yanında fazla sayıdaki kuş her iterasyonda hesaplama zorluğu artırır. Daha fazla sayıda kuşun olması, daha az sayıdaki parçacığa göre iyi çözüme daha az iterasyonda ulaşılmasını sağlar. Yapılan ampirik çalışmalar sürü büyüklüğünün 10 ile 30 olmasının optimal çözüme ulaşmada yeterli olacağını gösterse de bu değerler probleme bağlı değerlerdir. Düzgün arama yüzeyleri, düzgün olmayan arama yüzeylerine göre daha az sayıda kuş gerektirecektir. Buna karar vermede çapraz sağlama ve deney tasarımı gibi metotlardan yararlanmak daha doğru olacaktır (Belgin, 2007).

Komşu büyüklüğü: Sürü içindeki sosyal etkileşimin ölçüsüdür. Komşular küçükse bu daha az etkileşimin meydana geleceği anlamına gelir. Daha az komşu yakınsamanın daha az olmasına sebep olurken en iyi çözüme daha güvenilir bir biçimde ulaşılmasını sağlar. Daha az komşunun yerel en küçük değere yakalanma olasılığı daha azdır. Bu nedenle çözüme daha az sayıda komşu ile başlayıp iterasyondaki artışa bağlı olarak komşu sayısını artırmak avantajlı bir yaklaşım olmaktadır. Bu yaklaşım başlangıçta daha fazla noktanın aranmasını ve yakınsamanın daha hızlı yapılmasını sağlamaktadır (Belgin, 2007).

İterasyon sayısı: İyi sonuca ulaşmak için gerekli olan iterasyon sayısı probleme bağlı olarak değişmektedir. Az sayıdaki iterasyon algoritmasının erken yakınsamasına neden olabilir. Çok fazla sayıdaki iterasyon da hesaplama zorluğu yaratır. Fakat bahsedilen bu durumlar yalnızca durdurma koşulu iterasyon sayısına bağlı olduğu durumlarda geçerlidir (Belgin, 2007).

Hızlanma katsayıları: Rastlantısal  $r_1$  ve  $r_2$  vektörleriyle birlikte  $c_1$  ve  $c_2$  hızlanma katsayıları parçacıkların bilişsel ve sosyal bileşenlerin rassal etkilerini kontrol eder.  $c_1$  ve  $c_2$  katsayıları ayrıca güven parametreleri olarak da adlandırılır.  $c_1$ , kuşun kendine ne kadar güvendiği,  $c_2$  ise kuşun komşularına ne kadar güvendiğini ifade

eder.  $c_1=c_2=0$  durumunda kuşlar mevcut hızlarıyla arama uzayının sınırlarına gelinceye kadar hareketlerine devam ederler. Eğer  $c_1>0$  ve  $c_2=0$  ise tüm sürü tek bir y noktasına çekilir. Bu durumda tüm sürü tek bir rassal tepe tırmanıcıya dönüşür (Belgin, 2007).

$c_1$  ve  $c_2$ 'nin küçük değerler alması kuşların iyi çözüm bölgelerine geri çekilmeden iyi çözüm bölgelerinden çok uzaklara gitmesine neden olur.  $c_1$  ve  $c_2$ 'nin büyük değerler alması ise fazla hızlanmalarına ve beklenmedik yönlere veya önceki iyi çözüm bölgelerine doğru hareketlenmelerine neden olur (Belgin, 2007).

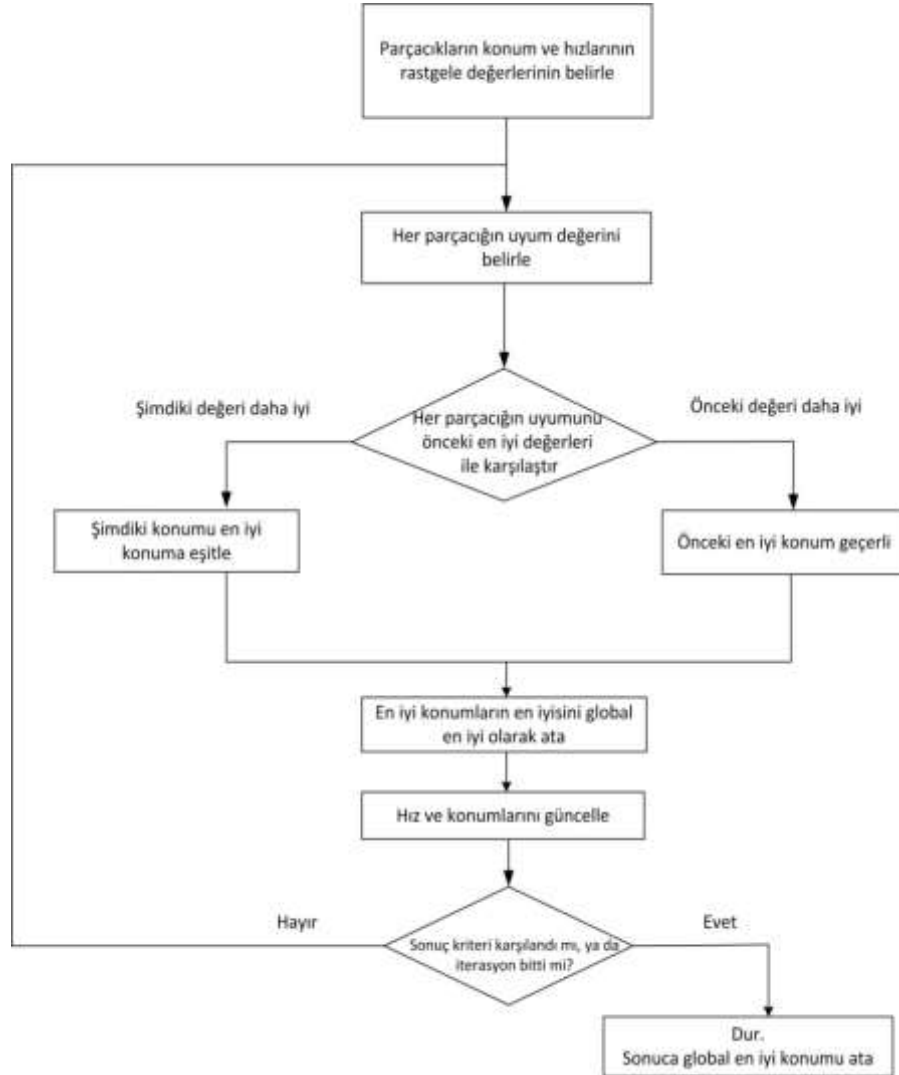
Hız sınırlandırma: Bir optimizasyon algoritmasının etkinlik ve doğruluğuna karar veren tarafı araştırma ve yoğunlaşma yetenekleridir. Araştırma, en iyi değer elde edebilmek için arama uzayının farklı bölgelerini tarayabilme yeteneğidir. Yoğunlaşma ise, aday bir çözüme daha arıtılmış bir hale getirebilmek için umut veren bir nokta üzerine yoğunlaşmaktır. Optimizasyon algoritması bu çelişen amaçları dengeleyebilmelidir. Parçacık sürüsü optimizasyonunda bu amaçların adresi hız güncelleme eşitliğidir (Belgin, 2007).

Hız sınırlandırmanın avantajları yanında dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan ilki, hız sınırlama sadece adım büyüklüğünü değiştirmez, ayrıca kuşların hareket ettiği yönün de değişmesine neden olur. Hız sınırlamasıyla ilgili diğer bir problem ise tüm hızların en büyük değere eşit olduğunda ortaya çıkmasıdır. Eğer bunu önlemeye yönelik hiçbir tedbir alınmazsa kuşlar arama uzayının sınırlarında arama yaparlar. Bu sorun eylemsizlik ağırlığı (inertia weight) veya maksimum hızın zaman içinde değişkenlik göstermesi yoluyla giderilebilir. Algoritmaya yüksek hız değerleriyle başlanarak zaman içinde hız değerinin düşürülmesi yoluna gidilebilir (Belgin, 2007).

Eylemsizlik Ağırlığı: Eylemsizlik ağırlığı Shi ve Eberhart tarafından arama ve yoğunlaşmanın kontrol edilmesine yardımcı olmak ve hız sınırlandırılmasını elimine etmek için önerilmiştir. Fakat bu bileşen birinci amacını gerçekleştirirken ikinci amacında başarılı olamamıştır.  $w$  değeri kuşun momentumunun önceki hızının katkısını dengeleyerek kontrol eder. Diğer bir ifadeyle önceki yöne ilişkin hafızanın yeni hızı nasıl etkileyeceğini belirler.  $w$  hız güncelleme eşitliğinde önceki hız

değerine çarpan olarak yazılır.  $w > 1$  olması durumunda kuşların hızları zaman boyunca maksimum hıza doğru yükselir ve sürü ıraksar ve kuşlar geriye doğru daha iyi bölgelere yön değiştiremezler. Eğer  $w < 0$  ise parçacıklar hızları sıfır oluncaya kadar yavaşlarlar. Büyük  $w$  değeri artırılmış ıraksamayla birlikte araştırmayı sağlarken, küçük  $w$  değeri yerel yoğunlaşmayı sağlar. Çok küçük  $w$  değerleri sürünün araştırma kabiliyetini önler ve bilişsel ve sosyal bileşenlerin pozisyon güncellemesinde daha etkin olmalarını sağlar (Belgin, 2007).

Bu ifadeler ışığında Parçacık Sürüsü Algoritması'na ait temel algoritma Şekil 2.7'de sunulmuştur.



Şekil 2.7. PSO akış diyagramı

PSO'nun akış diyagramı aşağıdaki gibi açıklanabilir (Gözde ve ark., 2010).

- ✓ Belirlenecek parametreler için alt ve üst sınırlar belirlenir.
- ✓ Rastgele olarak parçacıkların arama uzayındaki başlangıç konumları ( $x_i$ ) ve hızları ( $v_i$ ), belirlenen sınırlar dahilinde atanır.
- ✓ Parçacıkların uygunluk değerleri ve yerel en iyi konumları ile tüm sürünün en iyi konumu belirlenir.
- ✓ Her parçacığın uygunluk değeri, kendi yerel en iyi konumunun uygunluk değeri ile karşılaştırılır. Eğer parçacığın o anki konumunun uygunluk değeri daha iyi ise parçacığın konumu ve uygunluk değeri, yerel en iyi konumu ve uygunluk değeri olarak güncellenir.
- ✓ Yerel en iyi konum vektörünün en iyi uygunluk değeri, global en iyi konumun uygunluk değeri ile karşılaştırılır. Eğer yerel en iyi konum vektörünün en iyi uygunluk değeri daha iyi ise o parçacığın konumu ve uygunluk değeri, global en iyi konum ve uygunluk değeri olarak güncellenir.
- ✓ Parçacıkların hız ve konumları Denklem (1) ve (2)'ye göre güncellenir.
- ✓ Süreç, iterasyon sayısı tamamlanıncaya ya da belirlenen en iyi uygunluk değeri elde edilinceye kadar üçüncü adımdan itibaren tekrarlanır.
- ✓ Evrim sonunda elde edilen global en iyi konum, problemin çözümü olarak alınır.

Parçacık sürüsü optimizasyonu, diğer evrimsel algoritmalara göre basit algoritması, yazılımının kolayca gerçekleştirilebilir olması, az iterasyonla sonuca kısa sürede yakınsaması gibi üstünlükleri ile birçok farklı konuya uygulanabilmektedir (Yang ve ark., 2007).

### 2.2.2. PSO uygunluk kriterleri

Kontrolörün performansını belirleyebilmek için bir çok değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; integral of absolute error (IAE), integral of time weighted absolute error (ITAE), integral of squared error (ISE) ve integral of time weighted squared error (ITSE) gibi kriterlerdir (Westcott, 1954; Mahony, 2000). Bu dört performans kriterinin çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin IAE ve ISE

kriterlerinin dezavantajı yerleşme zamanlarının uzun olmasıdır. Çünkü ISE performans kriterinde tüm hatalar zamandan bağımsızdır. ITSE performans kriteri ISE kriterinin dezavantajının üstesinden gelebilmesine rağmen analitik formülün türev işlemi zaman alıcıdır (Mitsukura, 1999; Lieslehto, 2001).

Buna göre; IAE, ISE, ITAE, ITSE performans kriterleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$IAE = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt$$

$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt$$

### 2.3. PID Denetimi ve Temel Özellikleri

Tüm kontrol sistemlerinin amacı, sistemi istenilen duruma getirmek için tanımlanmış kontrol kriterlerini sistemin belirli durum ve değişkenlerini takip ederek verilen zaman aralıklarında gerçekleştirmektir. Kontrol sisteminde input ve output denilen girişler ve çıkışlar bulunur. Giriş verileri kontrolörde işlenerek kontrol edilen sisteme gerekli çıkışı sağlamaktadır. Bu çıkış, sistemi kumanda etmek için kullanılan bir kontrol sistemidir (Yüksel, 2011).

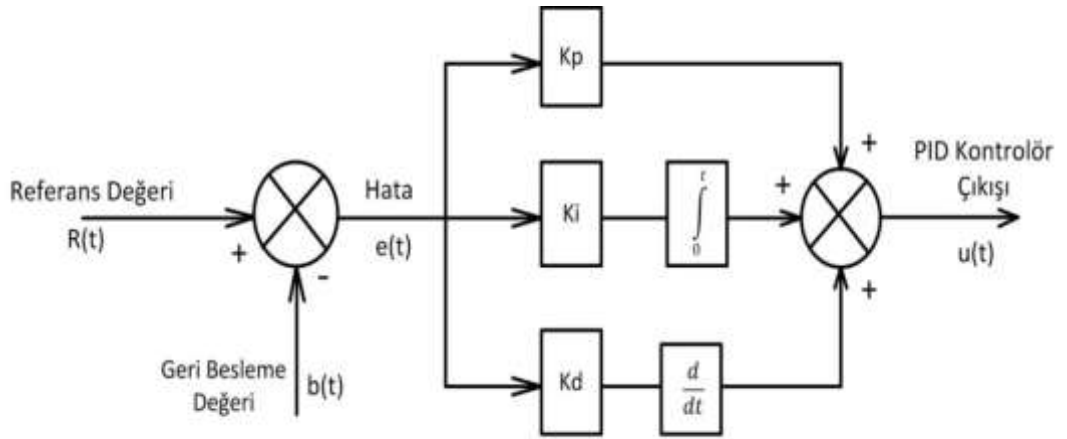
PID (Proportional-Integral-Derivative) denetim, oransal, integral ve türevsel kontrolün üstünlüklerini tek bir birim içerisinde birleştirilen bir kontrolör türüdür. PID günümüzde çok kullanılan bir kontrol yöntemidir. Endüstrideki uygulamaların %75'inde uygulanmıştır. Çok geniş bir uygulama alanının olmasına rağmen PID uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur (Kocaarslan, 2004).

PID denetiminde yer alan P, I ve D harfleri İngilizce Proportional, Integral ve Derivative (orantı, integral ve türev) kelimelerinin baş harflerinden meydana gelir. PID denetimi genelde en basit yapıda denetleyici olarak bilinir ve pek çok

endüstriyel uygulama alanında yeterli, güçlü ve uygun bir denetim sağlar. Diğer taraftan bu basit ve kullanışlılığı yanında zayıf yanları da mevcuttur. Herşeyden önce PID denetimi günümüzde karmaşık yapıda her çeşit sisteme uygulanamamaktadır. PID denetimi daha çok doğrusal ve basit yapıda tek döngülü sistemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Buna karşılık doğrusal olmayan, özellikle de ölü zaman gecikmesi sistem zaman gecikmesi yanında çok yüksek olan sistemlerde uygulanması zordur. Ayrıca sürtünmeden kaynaklanan doğrusallıkların bulunması halinde de PID denetimi yetersiz kalır. Genelde kararsız sistemleri PID denetimi yoluyla kararlı hale getirilmesi hemen hemen imkansızdır (Yüksel, 2011).

Denetlenecek sistemin dinamik yapısına bağlı olarak PID denetiminde yer alan üç temel denetim etkisinin mümkün olan en basit bileşimleri kullanılır. Bunlar P, PI, PD ve PID denetimi biçimde olabilir (Yüksel, 2011).

Şekil 2.9'da PID kontrolörün iç yapısına ait blok diyagramı verilmiştir. Bu blok diyagramından da görüldüğü gibi PID kontrolörün yapısını oransal kazanç, integral alıcı ve türev alıcı devrelerin birleşiminden oluşmaktadır.



**Şekil 2.8.** PID kontrolörün blok diyagramı

Buna göre PID kontrolörün genel ifadesi aşağıdaki gibidir.



$$U(t) = K_p * e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

Burada

$K_p$  = oransal kazanç;

$T_i$  = integral zamanı;

$T_d$  = türev zamanı

$e(t)$  = verilen giriş değeri ile çıkış arasındaki hata olarak ifade edilir.

PID denetimin transfer fonksiyonu

$$U(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (9)$$

olarak elde edilir.

PID denetim; üç temel denetim etkisinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir denetim etkisidir. İntegral etki sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev etkide, yalnızca PI denetim etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID denetim organı sistemde sıfır kalıcı-durum hatası ile hızlı bir cevap sağlar. PID parametrelerin geribeslemeli sistem üzerindeki etkisi birbirinden bağımsız olmayıp etkileşimli bir ayar gerekir.

**Çizelge 2.2.** PID katsayılarının sistem üzerine etkisi

PID	Yükselme zamanı	Aşım	Yerleşme Zamanı	Kalıcı Hal Hatası
$K_p$	Azalır	Artar	Az değişir	Azalır
$K_i$	Azalır	Artar	Artar	Yok olur
$K_d$	Az Değişir	Azalır	Azalır	Az değişir

### 2.3.1. P denetim (Oran etki ve orantı denetim)

$T_i \rightarrow \infty$  ve  $T_d \rightarrow 0$  halinde PID denetleyicisi yalnızca orantı etki ile çalışır. Bunu

da orantı kazancı  $K_p$ 'nin ayarı ile denetim organının denetim duyarlılığı artırılabilir. Pratikte genellikle orantı etki orantı bandı (PB) cinsinden ayarlanır. Orantı etkinin tersinin yüzdesi orantı bandı (PB) olarak tanımlanır. Orantı bandının matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$PB = \frac{100}{K_p} [\%] \quad (10)$$

P denetimin transfer fonksiyonu ise

$$U(s) = K_p \quad (11)$$

şeklinde ifade edilir.

Orantı etkide, sabit bir  $K_p$  orantı kazancında herhangi bir anda hatanın şiddeti ne kadar büyük olursa orantı etkinin hatayı düzeltme etkisi o kadar büyük olur. Buna karşılık hata küçüldükçe denetim etkisinin şiddeti küçülür ve hatanın belli bir en küçük değerinden sonra denetim etkisinin şiddeti hatayı tamamen düzeltmeye yetmez. Bu durumda geri beslemeli sistemde belli bir kalıcı durum hatası oluşabilir. Teorik olarak Tip 0 sistemler bir basamak giriş karşısında kalıcı durum hatası verir ve orantı denetim bu kalıcı durum hatasını gideremez. Ancak orantı kazancının büyük tutulması ile meydana gelen kalıcı durum hatası küçük tutulabilir. Bu durumda da sistem aşırı salınımlı ve hatta kararsız hale gelebilir. Orantı etki en iyi şekilde kararlı sistemlerin denetiminde iyi bir sonuç verir. Burada kararlı sistemlerden kast edilen kazanç artımı karşısında kararsız duruma geçmeyen sistemdir. Orantı etkinin en önemli üstünlüğü, yapısının basitliğidir. Basit bir kuvvetlendirici yardımıyla dahi orantı etkide çalışan denetleyici gerçekleştirmek mümkündür (Yüksel, 2011).

### 2.3.2. PI denetim (Orantı artı integral denetim)

Orantı etkiye integral etki ilavesi veya PID denetimde D türev etkinin devre dışı bırakılmasıyla elde edilen PI tipi denetim organı yapısı nispeten basit olup endüstriyel uygulamaların %90'ında PI denetim kullanılmaktadır. İntegral etki

biriktirilmiş hataya orantılı bir denetim çıkışı oluşturarak hatanın zaman içinde sıfırlanmasını sağlar. Bu integral etkinin olumlu tarafıdır. Diğer taraftan integral etki hatayı biriktirerek düzelttiği için denetim etkisi ve hatayı düzeltmesi zaman alır. Bu da integral etkiyi yavaş tepkili denetim biçimi yapar ve integral etkinin olumsuz yönüdür. Ayrıca integral etkiden dolayı paydaya katılan bir s çarpanı integral etkili denetime  $90^0$  lik faz gecikmesi verir ki bu geribeslemeli sistemin kararlılığını kötüleştirir (Yüksel, 2011).

İntegral etkinin kullanım amacı sistemin değişen talepleri üzerinde yeterli bir denetim etkisi sağlamaktır. Eğer sistemden gelen bir talep yalnız başına P-etkisi ile karşılanabiliyorsa I-etkinin kullanılması gereksizdir. Örneğin bir sıcak su elde etme siseminde, belli aralıklarla çekilen sıcak suya karşılık kazana dolan soğuk suyun ısı enerjisi talebi çok fazla değilse ve bu talep de çok sık aralıklarla değişmiyorsa orantı etki tek başına yeterli olabilir. Buna karşılık sistemden oldukça sık aralıklarla yüksek miktarda talepler ortaya çıkıyorsa P etkisi yalnız başına bu talepleri karşılayamaz. Böyle bir durumda talebin (bozucu giriş) büyüklüğüne bağlı olarak sistemde kalıcı-durum hatası ortaya çıkacaktır. Eğer P-etkisine I-etkisi ilave edilecek olursa denetleyici çıkışından sürekli artan (integre olan) denetim etkisi elde edileceğinden motor elemanının, hatanın ortadan kalkmasını sağlayacak kadar hareket etmesi temin edilmiş olur. Bu işlem sonucu denetlenen çıkış büyüklüğünde ortaya çıkan sapma sıfırlanmış olur (Yüksel, 2011).

Standart bir PI denetimin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$U(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (12)$$

### 2.3.3. PD denetim (Orantı artı türev denetim)

Standart PD denetimi orantı etkiye türev etki ilavesi ile oluşturulabilir. PD denetimin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$U(s) = K_p + K_d s \quad (13)$$

Türev etki hatanın kendisi yerine hatanın değişimi üzerinde etkili olduğundan hatanın değişimini önceden kestirerek hatanın büyümesine meydan vermeden hatayı çok hızlı bir şekilde düzeltme özelliğine sahiptir. Türev etki daha hata değişmeye başlar başlamaz harekete geçmesi “önceden sezış veya öngörü” etkisi olarak da bilinir. Türev etki aynı zamanda geri beslemeli sisteme sönüm katar. Bu da sistemin cevap hızın değişmeksizin kararlılığını artırır. Diğer bir deyişle türev etki açık-döngü transfer fonksiyonu payına “s” çarpanı getirerek sisteme s-düzlemi orijininde bir sıfır ilave eder. Bu ise sistemin kararlılığı üzerinde iyileştirici bir etki yapar. Pay’daki “s” çarpanı aynı zamanda sisteme  $90^0$  lik faz öndeliğı (avans) getirir.

Bir sabitin türevi sıfır olduğundan türev etkinin zamanla değişmeyen, sabit kalan hata üzerinde etkisi yoktur. Türev etki yalnızca hatanın zamana göre değişimi karşısında etkili olduğunda denetleyici yordamı olarak tek başına kullanılmaz. Türev etki zamanı artınca sistemin cevap hızı artmakta fakat diğer taraftan salınımı artarak kararlılığı kötüleşmektedir. Bu ise bir sistem kazanç artışına benzer bir durumdur. Gerçek türev zamanı aynı zamanda türev kazancı olarak da ifade edilir. Türev etkinin diğer bir olumsuz yönü ise ani hata değişimlerinde türev etki sağladığı denetim etkisi çok ani olmakta bu da sistemi özellikle yüksek frekans bölgesinde aşırı titreşimli hale sokmaktadır. Ayrıca türev etkinin sistemin kalıcı durum hatası üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Yani türev etki ilavesi olmadan kalıcı durum hatası veren bir sistem türev etki ilavesi ile de vermeye devam eder. Buna karşılık bozucu giriş karşısında kalıcı durum hatası vermeyen aşırı salınımlı sistemlerde PD denetimi iyi bir sonuç verir ( Yüksel 2011).

#### **2.3.4. PID denetim ( Orantı artı integral artı türev denetim)**

Uzun ölü zaman gecikmelerinin ortaya çıktığı süreç denetim sistemlerinde, PI denetimde integral etkinin tamamlayıcısı olarak türev etki kullanılır. Sıcaklık, PH, yoğunluk, karışım vb. ölçümlerinde ortaya çıkan ölü zaman gecikmeleri PID denetimi yoluyla PI denetime göre daha iyi telafi edilebilir.

Düşük şiddetli bozucu girişlere maruz bir sistemin PI etkisi ile denetlenmesi halinde PB orantı bandı ayarının geniş ve integral etki kazancı ( $K_i=1/T_i$ ) ayarının düşük tutulması tercih edilir. Bu ayarlar altında, sisteme uzun zaman aralıkları içerisinde şiddeti yüksek bozucu girişler etki edince, PI denetim tek başına hatada meydana gelen değişimleri izlemeye ve düzeltmeye yetişemez. Bu durumda türev etki ilavesi orantı kazancı ayarının daha yüksek tutulmasına (orantı bandının daralması) olanak tanıyarak denetim organı tepki süresini hızlandıracaktır. Aşırı salınımlı, sönümü düşük servomekanizmalarda PI denetim tek başına yeterli olamamaktadır. Bu durumda da türev etki ilavesi, sistemde fazla bir kararsızlık problemi yaratmadan  $K_p$  orantı kazancının yüksek tutulmasını sağlayarak sistemin kararsızlığa yatkınlığı önlemiş olur. Böylece PID denetim etkisi ile bir taraftan kalıcı-durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici-durum davranışı iyileştirilmiş olur.

P, PI, PD ve PID denetim ile çalışan geri beslemeli sistemin basamak bozucu giriş karşısında hatanın sinyalini gönderdiği değişim eğrilerini birbiri ile kıyaslırsak ;

- Yalnızca P denetim halinde, cevap eğrisi birkaç salınım yapıktan sonra kalıcı-durum halinde olması gerektiği noktadan belli bir sapma gösterir.

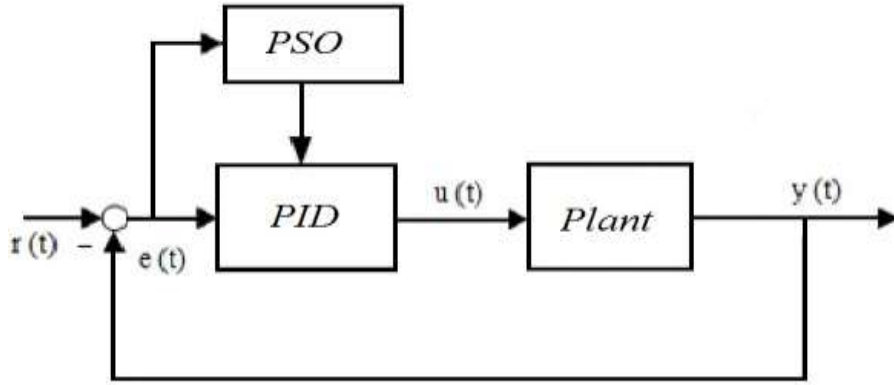
- PI denetim halinde, benzer biçimde bir cevap eğrisi elde edilmekle beraber kalıcı-durum halinde bir sapma meydana gelmez. Bununla beraber orantı etkiye integral etki ilavesi sistemin kararsızlığa yatkınlığını artırır. Bu durumu telafi etmek için orantı kazancı, yalnızca orantı etki denetime göre daha düşük seçilmelidir. Yalnız bu durumda da hatanın düzeltilmesi, yalnız orantı etkide olduğu gibi hızlı olmaz ve başlangıç hatası da daha yüksek değerde ortaya çıkar.

- PD denetim halinde; hata ortaya çıkar çıkmaz hem orantı etki ve hem de türev etki hatayı azaltır ve dolayısıyla hatanın ilk en yüksek değeri (peak) daha küçük kalır. Ortaya çıkan en yüksek değerden sonra orantı etki halen hatayı düşürmeye çalışır. Fakat buna karşılık hatanın değişim oranı ters yönde etki ederek değişimi önlemeye çalışır. Bu nedenle türev denetim sistem üzerinde kararlılık kazandırıcı bir etki yaratarak daha kuvvetli bir orantı etki kazancı kullanma olanağı sağlar. Eğriden de

görüldüğü gibi PD denetim ile, P denetime göre, daha az başlangıç sapması ve daha az kalıcı-durum hatası ortaya çıkar.

- PID denetimde daha büyük bir başlangıç (peak) hatası ortaya çıkmasına rağmen kalıcı-durum hatası tamamen sıfır olur.

En uygun PID parametrelerini elde etmek için bir çok optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan PSO algoritmasının PID sistemine uygulamasına ait blok diyagramı Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 2.9. PSO-PID Kontrolör

Burada Plant, kontrol edilecek sistemi yani transfer fonksiyonunu ifade etmekte olup Omron K40030H marka servomotorun özellikleri kullanılarak çıkarılmıştır. PID ise istenen giriş değerine karşılık verilecek olan cevap sinyalinin olabilecek en az hata ile ve istenen step değerine en kısa zamanda ulaşabilmesi için kullanılan parametredir.

PSO ise çıkışın optimum değerlerini vermesini sağlayacak olan  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerini elde etmeyi sağlayan bir algoritma olarak ifade edilmiştir.

#### 2.4. Ziegler-Nichols Yöntemi

Optimum PID parametrelerini ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) ayarlamakta kullanılan yöntemlerden biri de Ziegler-Nichols yöntemidir. Bu yöntem John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nicholas

tarafından 1942 yılında bulunmuştur (Ziegler ve Nichols, 1942). Ziegler-Nichols'da sistem modeli gerekmez. Bu metot açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1- Açık sistem step cevabına bakılarak Çizelge 2.2'ye göre değerler elde edilir.

**Çizelge 2.3.** Ziegler-Nichols açık döngü ayar parametreleri

Controller	$K_p$	$T_i=K_p/K_i$	$T_d=K_d/K_p$
<b>P</b>	T/L	-	-
<b>PI</b>	0,9*(T/L)	L/0,3	0
<b>PID</b>	1,2*(T/L)	2*L	0,5*L

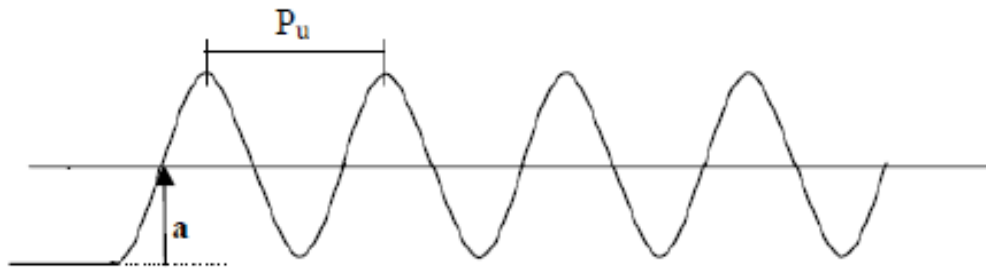
Yukarıdaki tabloda;

T, sinyal dalgasının periyodu

K , sisteme verilen yanıtın eğimi

L ise ölü zamanı ifade etmektedir.

2- Şekil 2.8'deki kapalı döngü cevabına göre; önce  $K_i$  ve  $K_d$  değerleri 0 kabul edilir.  $K_p$  değeri sistem salınımına girene kadar artırılır ve salınımın başladığı andaki  $K_p$  değeri  $K_u$  olarak adlandırılır . Buna göre Çizelge 2.3'teki değerler elde edilir.



**Şekil 2.10.** Ziegler-Nichols metodu kapalı döngü sistem cevabı

**Çizelge 2.4.** Ziegler-Nichols kapalı döngü ayar parametreleri

<b>Controller</b>	<b><math>K_p</math></b>	<b><math>T_i</math></b>	<b><math>T_d</math></b>
<b>P</b>	$K_u/2$	-	-
<b>PI</b>	$K_u/2,2$	$P_u/1.2$	-
<b>PID</b>	$K_u/1,7$	$P_u/2$	$P_u/8$

Yukarıdaki tabloda  $K_u$ ; sistemin salınımının başladığı andaki girilen  $K_p$  değeridir.  $P_u$  ise sistemin verdiği sinyalin periyodudur.

Ziegler-Nichols metodunun en büyük dezavantajlarından biri, oransal kazanç hesaplanırken sistemin kararsızlığa düşmesidir.



### 3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SİMULASYON SONUÇLARI

Bu tezde Omron K40030H marka AA servomotor kullanılmıştır. Kullanılan servomotora ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1.** Omron K40030H marka AA servomotor parametreleri

<b>SERVOMOTOR</b>		
<b>Model</b>	K40030H	
<b>Anma Gücü</b>	400W	
<b>Anma Torku</b>	1,3 Nm	
<b>Anma Hızı</b>	3 000 r/min	
<b>Maksimum Dönme Hızı</b>	6 000 r/min	
<b>Maksimum Tork</b>	3,8 Nm	
<b>Anma Akımı</b>	2,4 A(rms)	
<b>Maksimum Akım</b>	10,2 (0-p)	
<b>Rotor Ataleti</b>	<b>Frensiz</b>	$0.26 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$
	<b>Frenli</b>	$0.28 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$
<b>Mekanik Zaman Sabiti</b>	<b>Frensiz</b>	0,43 ms
	<b>Frenli</b>	0,46 ms
<b>Elektriksel Zaman Sabiti</b>	3,4 ms	

AA servomotor için transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

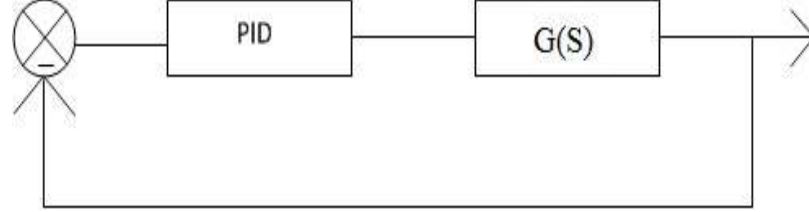
$$\frac{Q(s)}{E_c(s)} = \frac{K_1}{J_m s^2 + (B_m + K_2)s}$$

$$K_1 = 0,54167 (N * m)/A$$

$$J_m = 0,26 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2 \text{ (Frensiz)}$$

$$B_m = 4,13802852 * 10^{-3} (N * m)/(rad/s)$$

$$K_2 = 0,012273318 (N * m)/(rad/s)$$



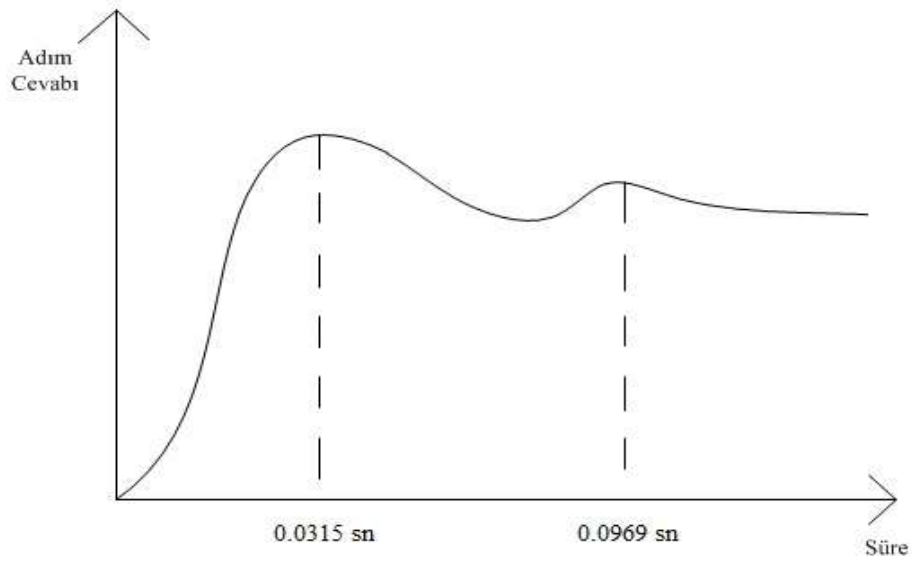
**Şekil 3.1.** PID ve geri besleme

PID denetim ile sistemimizi çarpar ve geri beslemeye tabi tutarsak aşağıdaki transfer fonksiyonunu elde ederiz (Şekil 3.1).

$$TF = \frac{(2123.7 * K_d) s^2 + (2123.7 * K_p) s + (2123.7 * K_i)}{s^3 + (2123.7 * K_d + 64.338) s^2 + (2123.7 * K_p + 1) s + (2123.7 * K_i)}$$

Bölüm 2.3'te Ziegler-Nichols yönteminde bahsetmiştim. AA servomotorun denetimi Ziegler-Nichols yönteminden alınan PID değerleri ile yapılmak istenirse aşağıdaki işlemler yapılır.

Kapalı döngü çevrime göre; önce  $K_i$  ve  $K_d$  değerleri 0 kabul edilir. Sistem salınıma girene kadar  $K_p$  değeri artırılarak sinyaldeki iki tepe noktası Şekil 4.2'deki gibi ortaya çıkarılır.



**Şekil 3.2.** Kapalı döngü çevrime göre sistem adım cevabı

$$\text{Periyod} = 0,0969 - 0,0315 = 0,0654 \text{ sn}$$

$$P_u = 0,0654$$

Şekil 3.2'deki salınımın ortaya çıktığındaki  $K_p$  değeri 5 olarak bulunmuştur.

$$K_p = K_u = 5$$

Şekil 3.2'deki bilgiler ışığında  $K_u$  ve  $P_u$  değerleri yerine yazılırsa Çizelge 3.2'deki durum ortaya çıkar.

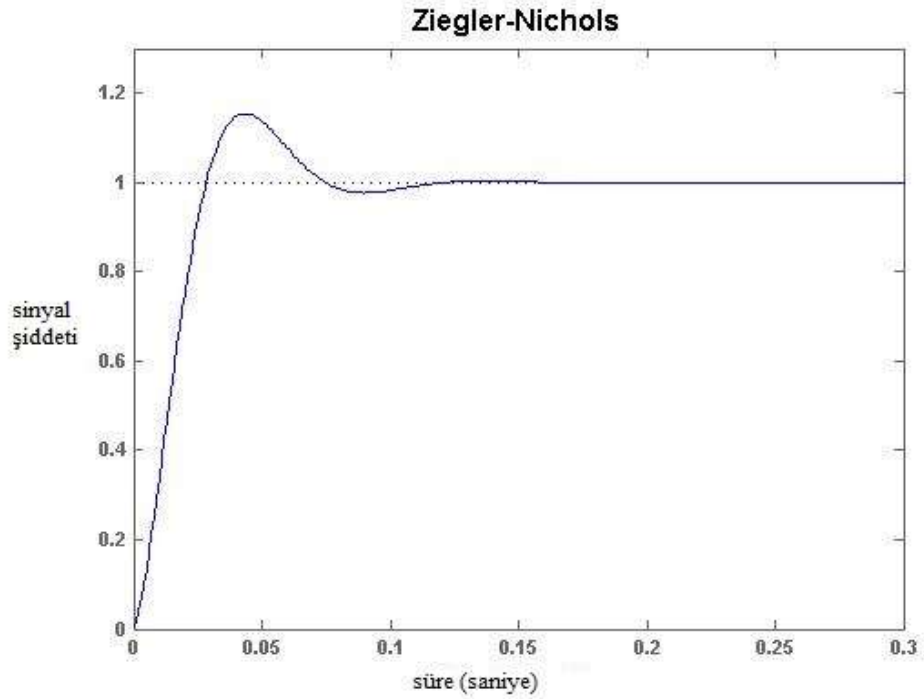
**Çizelge 3.2.** Ziegler-Nichols yöntemi ile AA servomotorun PID değerleri

Metot	$K_p$	$K_i$	$K_d$
Ziegler-Nichols	2,94	0,0327	0,008175

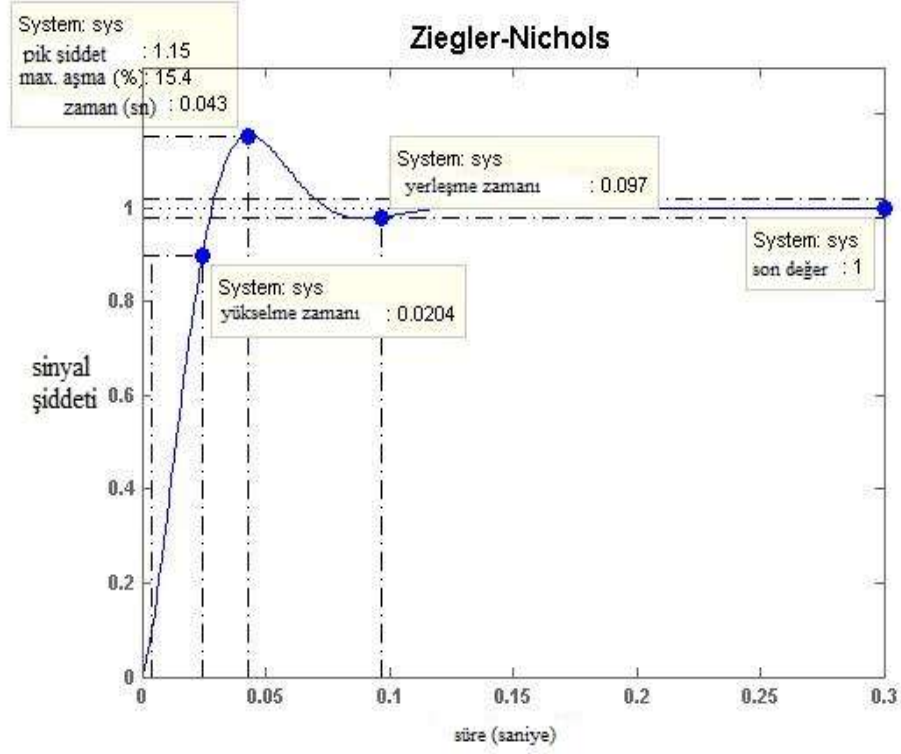
**Çizelge 3.3.** Ziegler-Nichols yöntemi ile oluşturulan adım cevabının karakteristikleri

Metot	Maksimum aşma yüzdesi	Yükselme zamanı (sn)	Yerleşme zamanı (sn)	Kararlı durum hatası
Ziegler -Nichols	15,4	0,0204	0,097	-

Hareket kontrol sisteminin Ziegler - Nichols yöntemine göre kapalı döngü cevabı Şekil 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir.



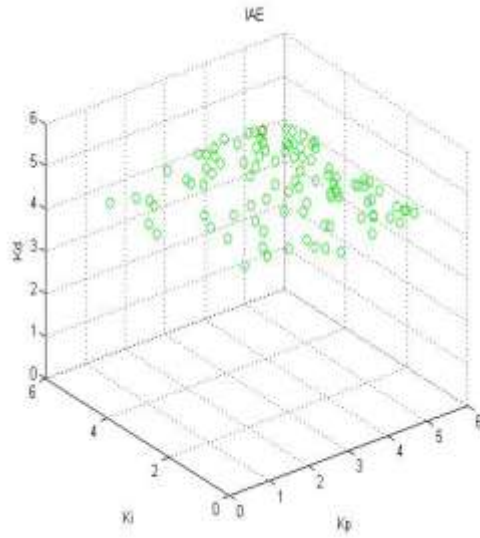
**Şekil 3.3.** AA Servomotor için Ziegler-Nichols'a göre adım cevabı



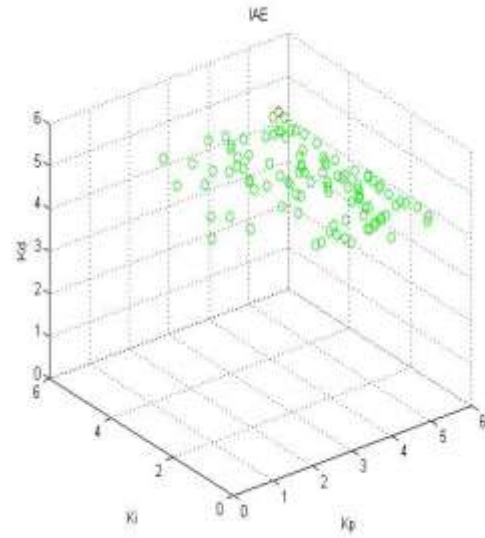
**Şekil 3.4.** AA servomotor için Ziegler-Nichols'a göre adım cevabı

Aynı problemi parçacık sürüsü optimizasyonu ile çözmeden önce iterasyonun PSO için öneminden bahsetmek gerekir. Parçacık sürüsü optimizasyonunda iterasyonun önemi çok büyüktür ne kadar çok iterasyon yapılırsa cevaba o kadar yaklaşmış olur. Şekil 3.5-3.8'de IAE, 3.9-3.12'de ITAE, Şekil 3.13-3.16'da ISE ve Şekil 3.17-3.20'de ITAE nin çeşitli iterasyon sayıları altında doğru cevaba yaklaşma durumları görülmektedir. Şekiller içerisindeki her bir yuvarlak farklı bir kuşu (cevabı) temsil etmektedir. Yeşil noktalar her bir kuşun kişisel en iyi derecesini gösterirken kırmızı nokta ise tüm kuşların kişisel en iyi dereceleri arasındaki en iyi dereceyi ifade etmektedir.

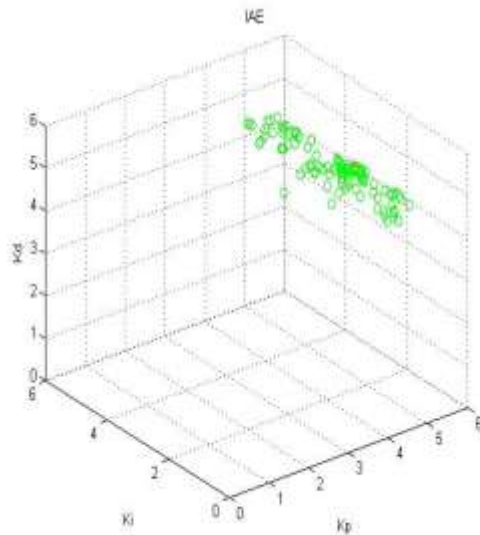
## IAE



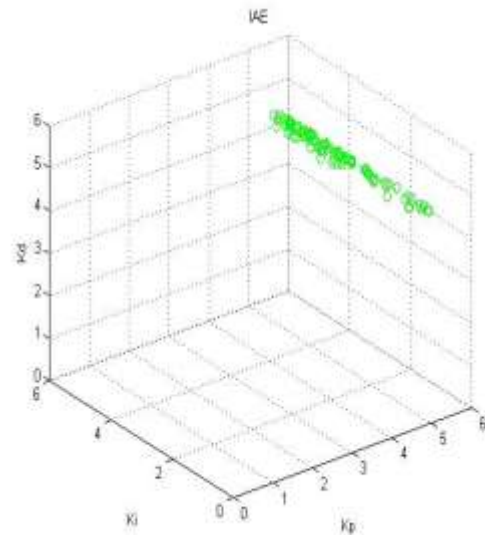
Şekil 3.5. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



Şekil 3.6. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

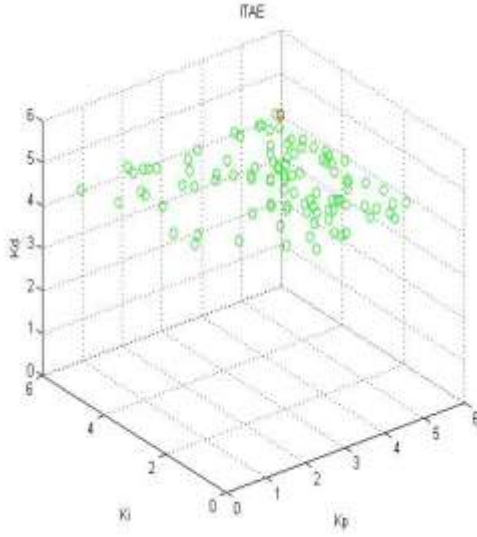


Şekil 3.7. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

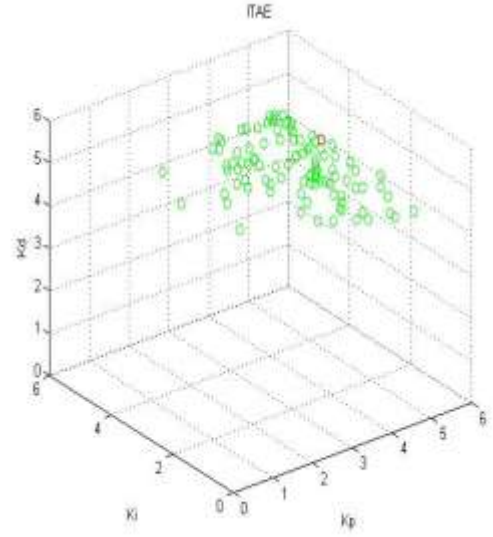


Şekil 3.8. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

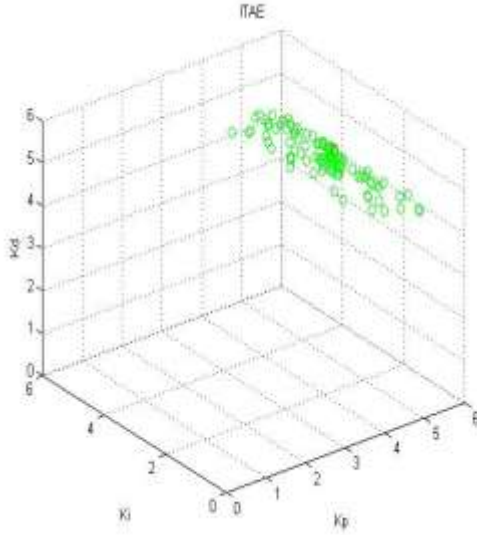
## ITAE



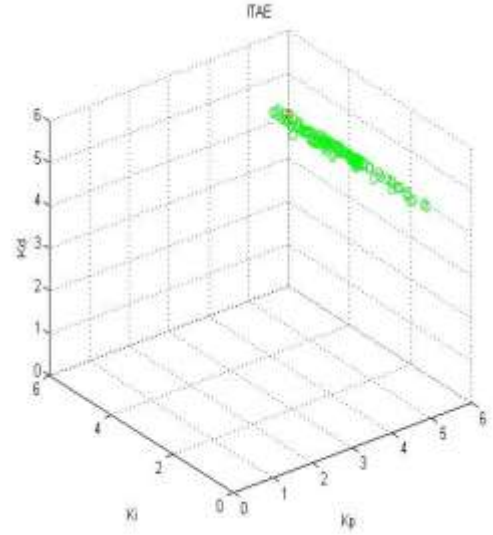
**Şekil 3.9.** 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



**Şekil 3.10.** 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

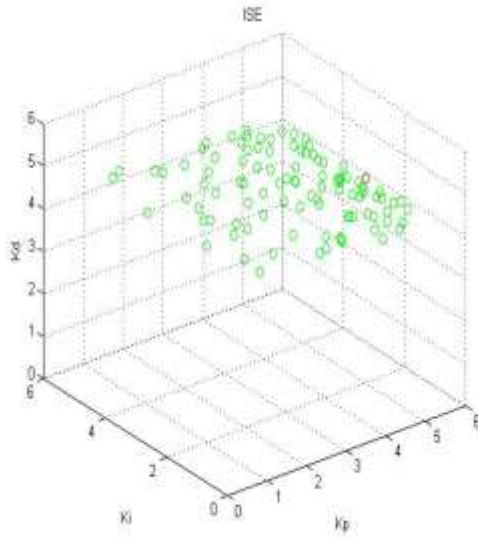


**Şekil 3.11.** 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

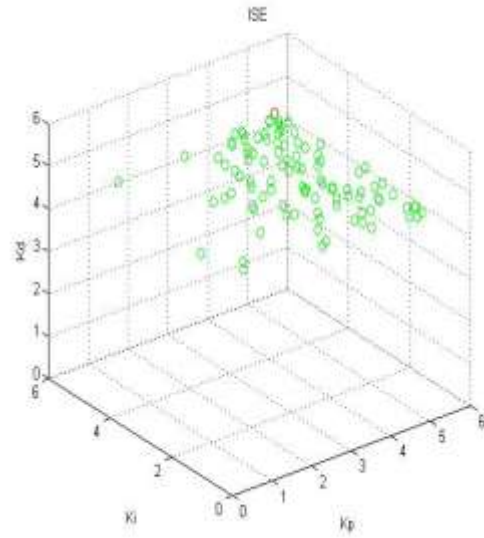


**Şekil 3.12.** 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

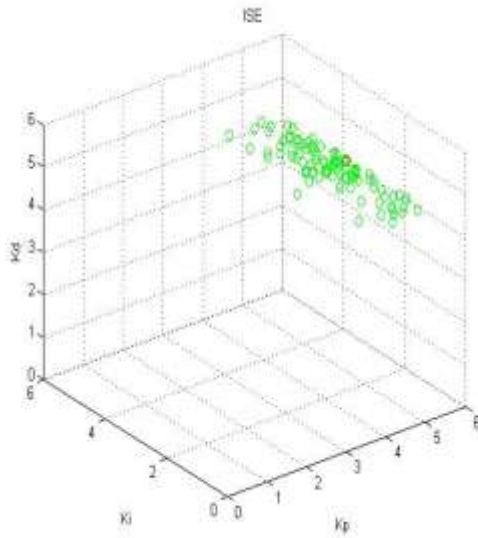
## ISE



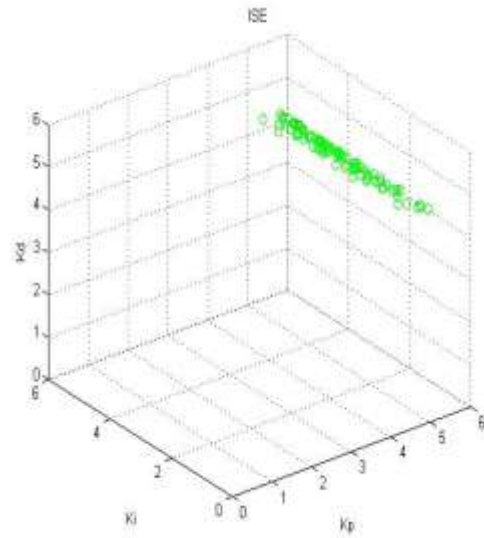
Şekil 3.13. 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



Şekil 3.14. 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



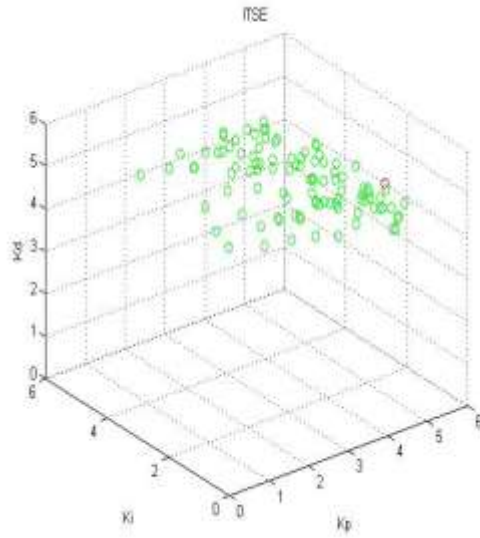
Şekil 3.15. 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



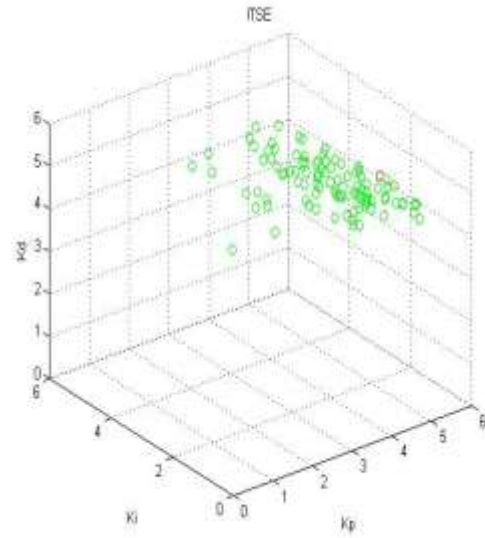
Şekil 3.16. 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



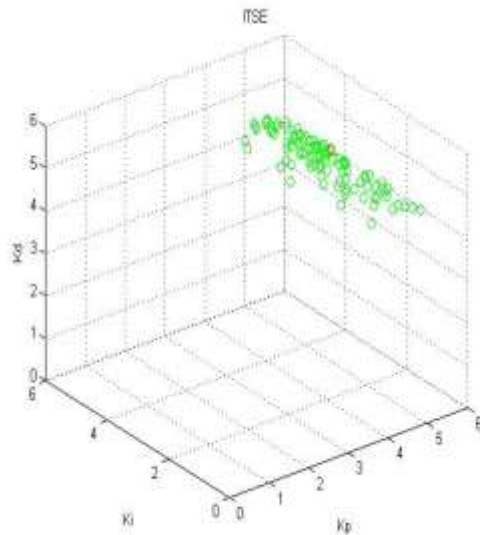
## ITSE



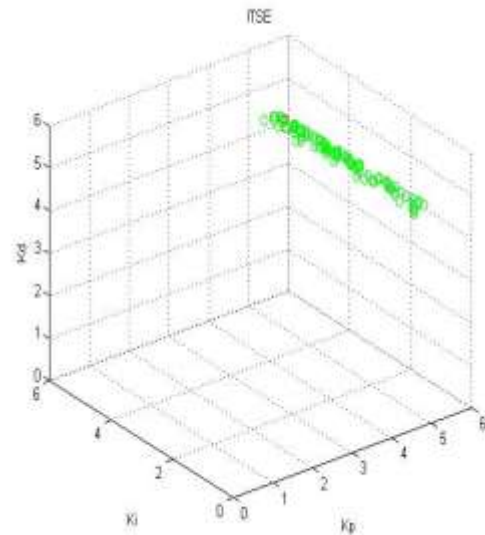
**Şekil 3.17.** 50 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



**Şekil 3.18.** 100 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



**Şekil 3.19.** 1000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları



**Şekil 3.20.** 10000 iterasyon sonunda kuşların pozisyonları

12 nolu PSO denklemindeki her bir terim için MATLAB R2012a programında, literatüre uygun sayılar vererek PID değerleri bulunabilir.

$$v_{i,d}^{(t+1)} = \text{Gamma} * v_{i,d}^{(t)} + c_p * r_1 * (pbest_{i,d} - x_{i,d}^{(t)}) + c_g * r_2 * (gbest_d - x_{i,d}^{(t)})$$

(12)

$$x_{i,d}^{(t+1)} = x_{i,d}^{(t)} + v_{i,d}^{(t+1)};$$

$$\text{Gamma} = \text{GammaMax} - t * (\text{GammaMax} - \text{GammaMin}) / (\text{ItNo})$$

$$N=100$$

$$\text{ItNo} = 10\ 000;$$

$$\text{GammaMax} = 0,9$$

$$\text{GammaMin} = 0,4$$

$$c_p = 2$$

$$c_g = 2$$

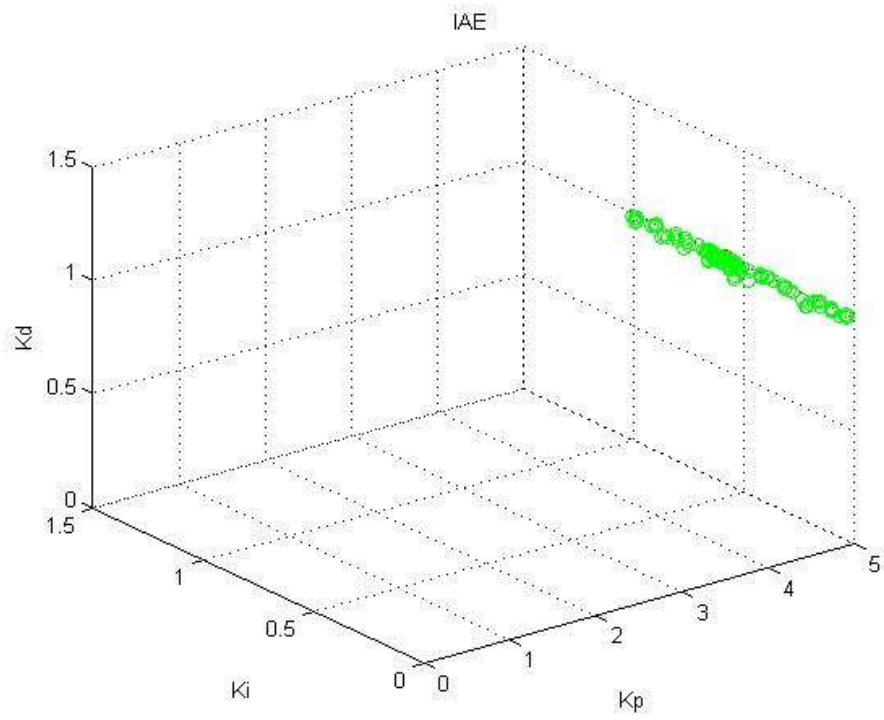
$$K=3$$

$$\text{PID üst limit} = [5\ 1\ 1]$$

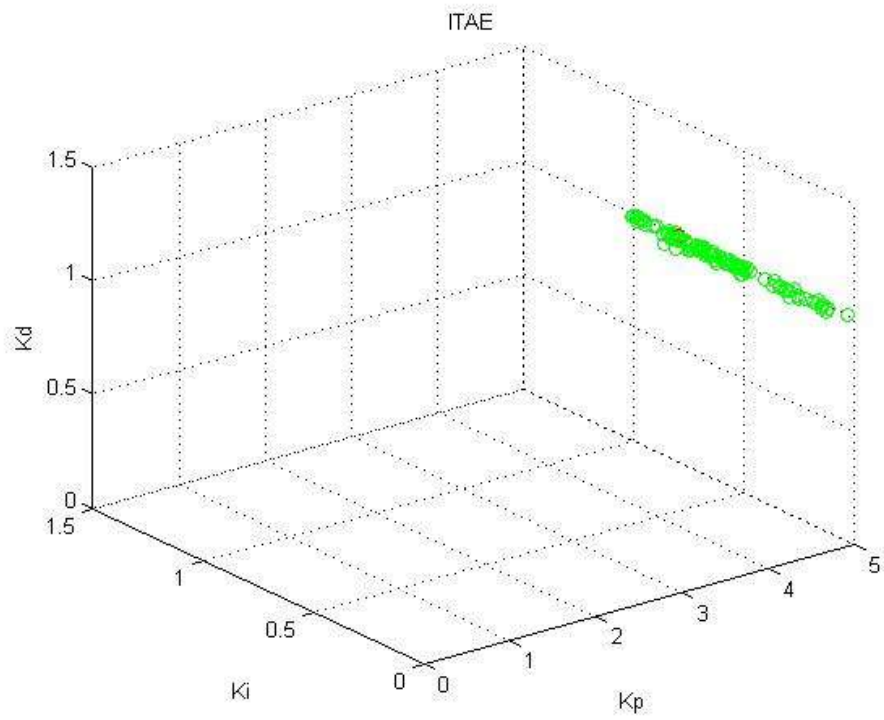
$$\text{PID alt limit} = [0\ 0\ 0]$$

$$\text{Step} = 0,001$$

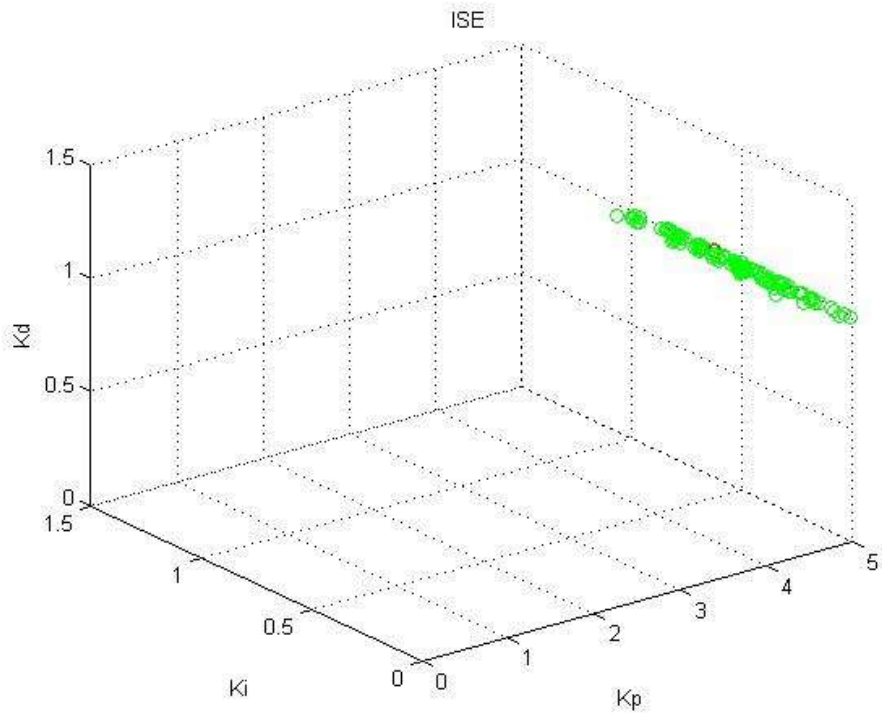
$$\text{Finish} = 0,1$$



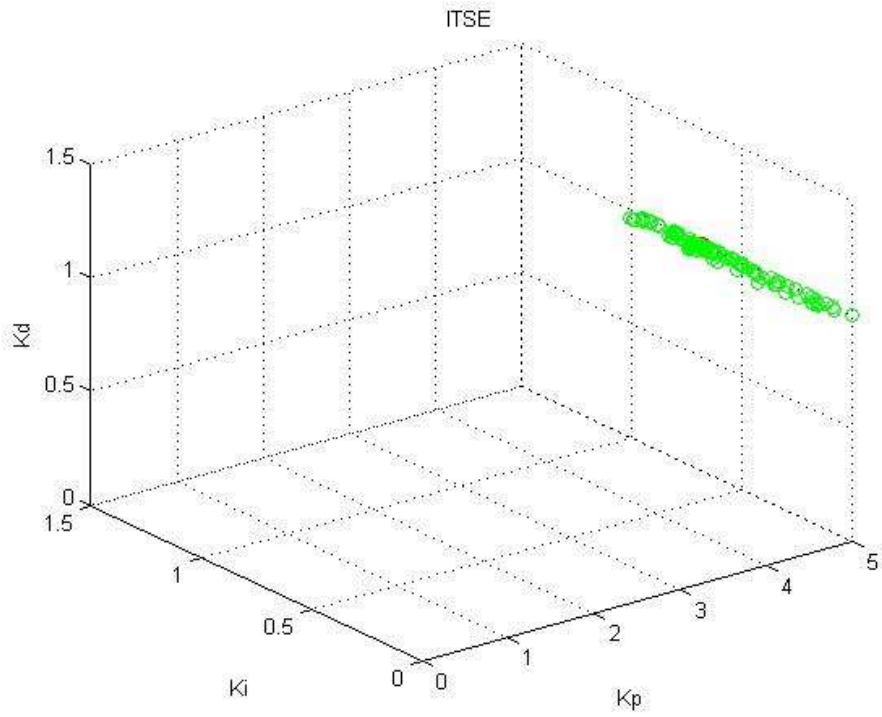
Şekil 3.21. Parçacıkların IAE kriteri altında pozisyonları



Şekil 3.22. Parçacıkların ITAE kriteri altında pozisyonları



Şekil 3.23. Parçacıkların ISE kriteri altında pozisyonları

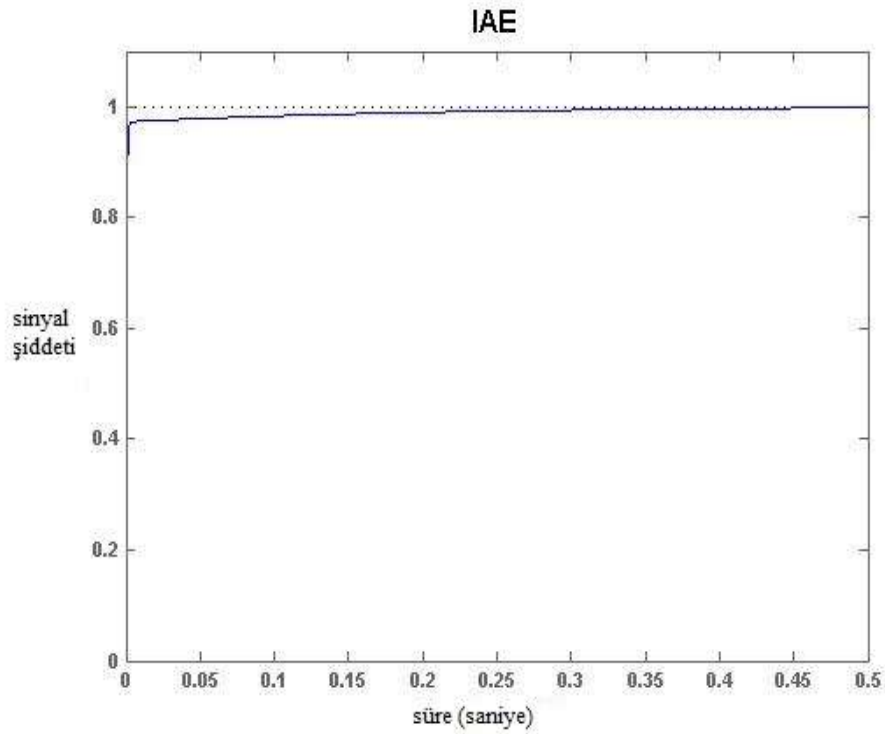


Şekil 3.24. Parçacıkların ITSE kriteri altında pozisyonları

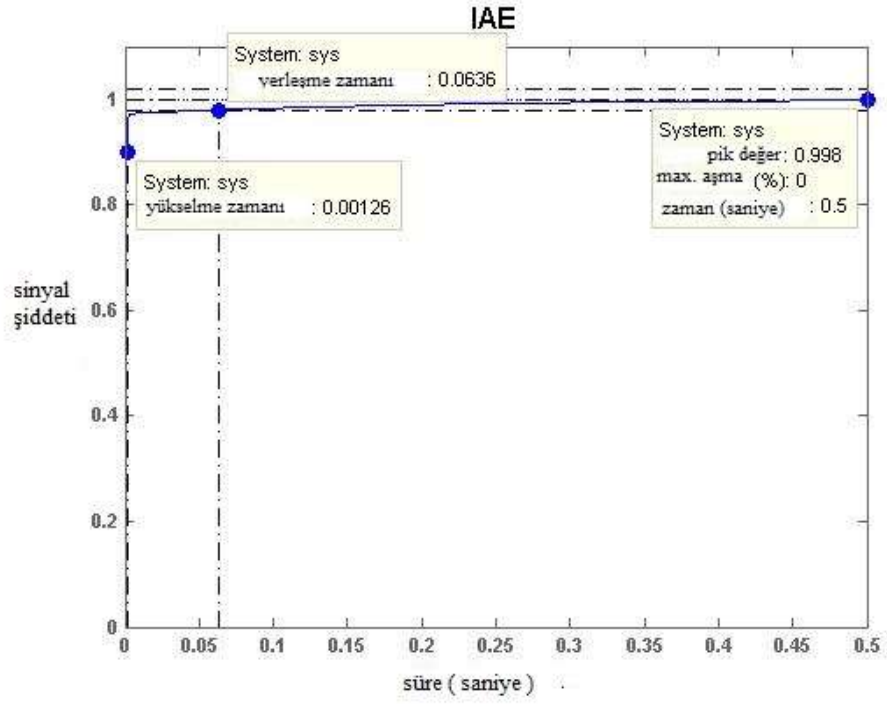
**Çizelge 3.4.** 4 farklı kritere göre PID değerleri, hata toplamları ve on bin iterasyon için geçen süre

Kriter	Kp	Ki	Kd	Hataların toplamı	Süre (sn)
<b>IAE</b>	4,9946	0,7733	0,9992	3,2782	9685,5
<b>ITAE</b>	4,9918	0,0039	0,0769	0,0365	10118
<b>ISE</b>	4,9960	0,6795	0,9996	1,0662	9570,5
<b>ITSE</b>	4,9778	0,6350	0,9987	0,0020	9549,3

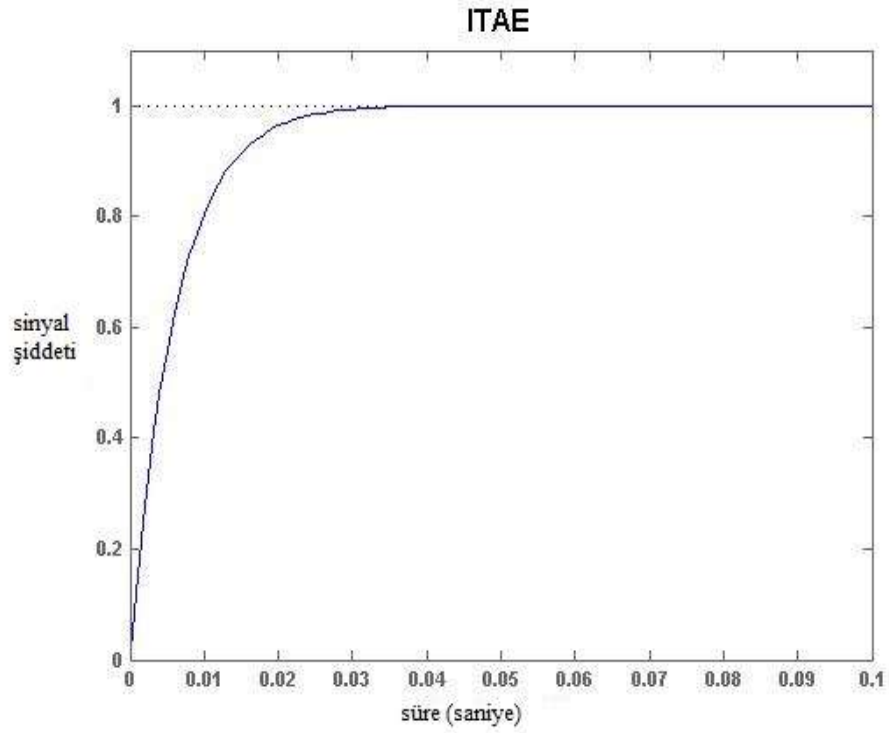
Çizelge 3.4'teki PID değerleri kullanılarak elde edilen çıkış sinyalleri Şekil 3.25-3.26'da gösterilmiştir.



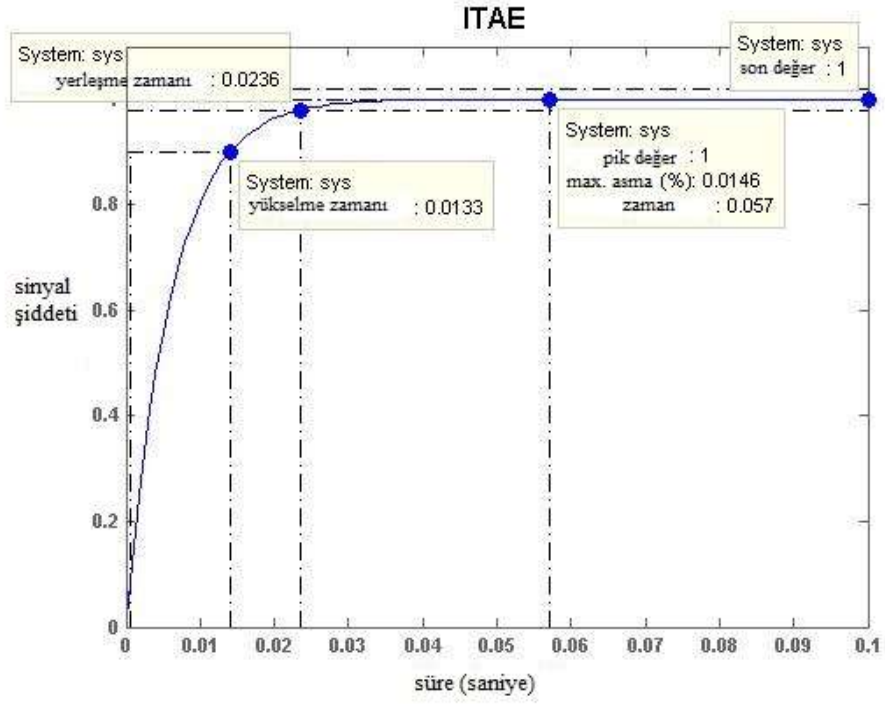
**Şekil 3.25.** AA servomotor için IAE kriterine göre adım cevabı



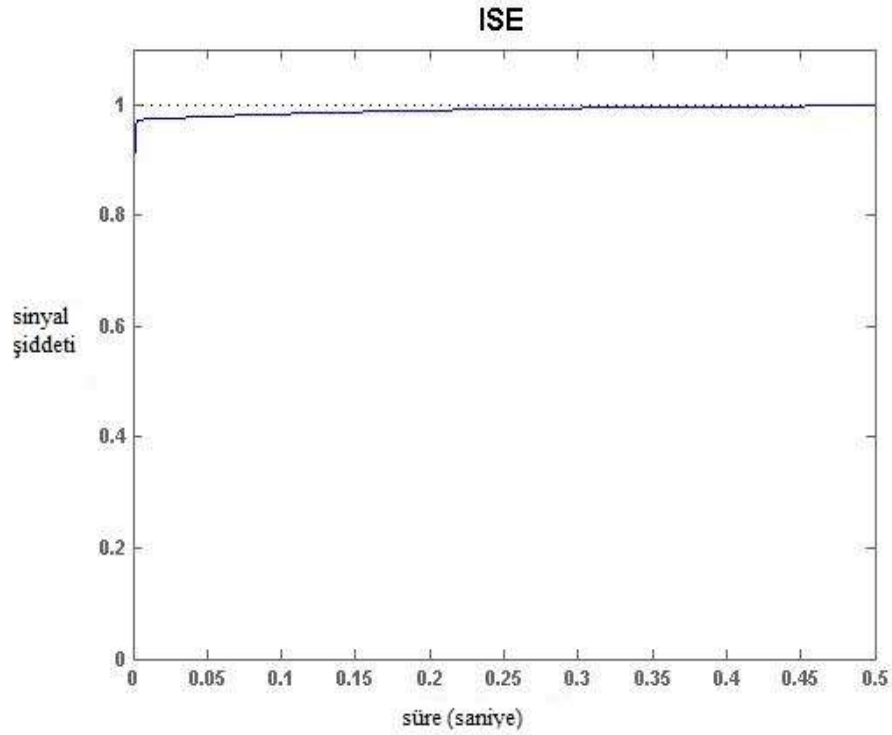
**Şekil 3.26.** AA servomotor için IAE kriterine göre adım cevabı



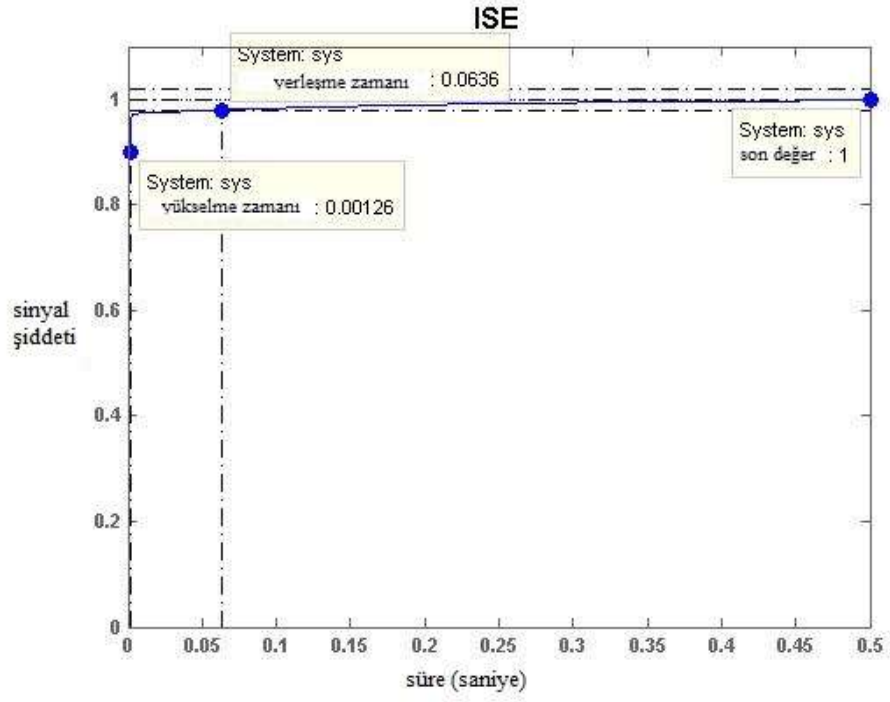
**Şekil 3.27.** AA servomotor için ITAE kriterine göre adım cevabı



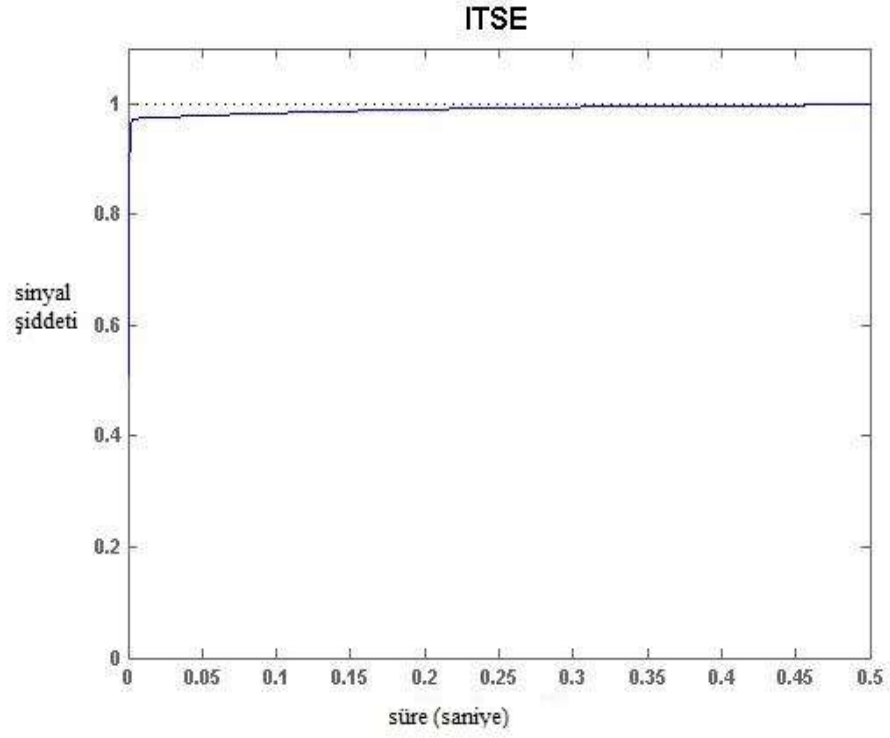
Şekil 3.28. AA servomotor için ITAE kriterine göre adım cevabı



Şekil 3.29. AA servomotor için ISE kriterine göre adım cevabı

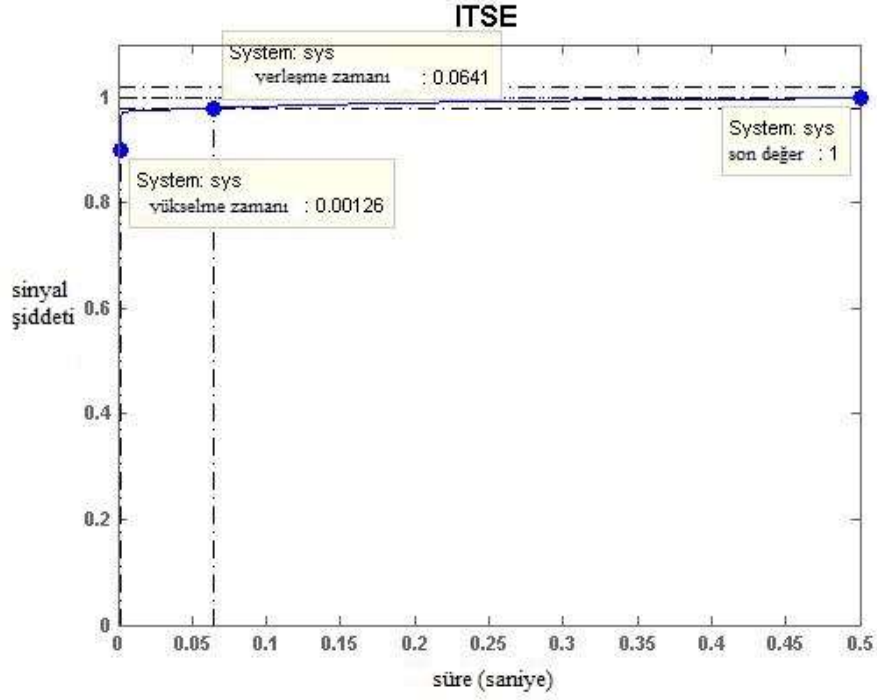


Şekil 3.30. AA servomotor için ISE kriterine göre adım cevabı



Şekil 3.31. AA servomotor için ITSE kriterine göre adım cevabı





Şekil 3.32. AA servomotor için ITSE kriterine göre adım cevabı

Yukarıdaki şekillere göre 4 farklı kriterine göre (IAE, ITAE, ISE, ITSE) aşma değeri, yerleşme ve yükselme zamanları. Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. 4 farklı kriterin yükselme zamanı, yerleşme zamanı, aşma yüzdesi ve kararlı durum hatası

Kriter	Yükselme zamanı (sn)	Yerleşme zamanı (sn)	Maksimum aşma yüzdesi	Kararlı durum hatası
IAE	0,00126	0,0636	-	0,002
ITAE	0,0133	0,0236	0,0146	-
ISE	0,00126	0,0636	-	-
ITSE	0,00126	0,0641	-	-

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hareket kontrolünün daha iyi yapılabilmesi için gerekli optimum PID parametreleri, parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılarak tespit edilmiştir. AA servomotorun transfer fonksiyonu PID denetim ile çarpılıp geri besleme yapılmıştır. Böylece verilen giriş değerine karşılık sistemden alınan cevabın arasındaki fark incelenip, bu farkın minimize edilmesine çalışılmıştır. Sisteme uygulanacak PID değerinin parçacık sürüsü optimizasyonundan alınması bu tezin temel mantığını oluşturmaktadır. Matlab R2012a programı ile gerçekleştirilen simülasyon için  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$ 'nin alt ve üst sınırları Ziegler-Nichols yöntemi ile belirlenmiştir. Ziegler-Nichols kapalı döngü ayar parametreleri kullanılarak üst sınır olarak  $K_p$  için 5,  $K_i$  ve  $K_d$  için 1, alt sınır olarak ise 0 belirlenmiştir. Bu sınırlar çerçevesinde aynı probleme hem Ziegler-Nichols yöntemiyle hemde parçacık sürüsü algoritmasındaki IAE, ITAE, ISE ve ITSE kriterleri ile yanıt aranmıştır. Ortaya çıkan optimum PID değerleri çizelgelerle verilerek kıyaslanmıştır. Ziegler-Nichols yöntemi ile gerçekleştirilen simülasyon neticesinde ortaya çıkan % 15.4'lük aşma yüzdesinin PSO'daki dört kriterde de olmadığı gözlemlenmiştir. Maksimum aşma değeri, yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve kararlı durum hatasının bu 5 farklı kriterlerde de farklı cevaplar verdiğini göstermiştir. PSO kriterleri içerisinde IAE, ISE ve ITSE kriterindeki yükselme ve yerleşme zamanlarının birbirlerine çok yakın olmasına rağmen ITAE kriterinin diğer kriterlere göre oldukça iyi yanıt verdiği gözlemlenmiştir. Kısacası istenilen en uygun değerleri (minimum aşma, en kısa yükselme ve yerleşme süresi) diğer kriterlere göre daha kısa sürede veren kriterin ITAE olduğu ve kararlı durum hatası oluşturmadığı görülmüştür. Bu çalışma ile hareket kontrol uygulamalarından PSO içerisinde yer alan ITAE kriterinin diğer kriterlere göre daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda PSO algoritmasının diğer algoritmalar ile kıyaslanması hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışmadaki AA servomotor yüksüz (boşta) olarak kabul edilmiştir. İlerki yapılacak çalışmalarda yüklü durum ve dinamik çalışma hali kabul edilip, bu çalışmadaki yüksüz durum ile yüklü durum arasında bir kıyaslama yoluna gidilecektir.

## KAYNAKLAR

- Akyol, S., Alataş, B., 2012. Güncel sürü zekası optimizasyon algoritmaları. Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1(1), 36-50.
- Allaoua, B., Gasbaoui, B., Mebarki, B., 2009. Setting up PID dc motor speed control alteration parameters using particle swarm optimization strategy. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 14(1), 19-32.
- Anonim, 2011, Step ve servomotorlar, [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Step-servo%20Motorlar.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Step-servo%20Motorlar.pdf) (10.01.2013).
- Anonim, 2012. Asenkron motor ders notu, <http://alapli.beun.edu.tr/wp-content/uploads/2013/04/asenكرونmak%C4%B1nalar.pdf> (10.11.2012).
- Anonim, 2012. Doğru akım motorları, <http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/ELK2015/H10.pdf> (11.12.2012).
- Anonim, 2013. Electric servo motor equations and time constants, <http://support.ctc-control.com/customer/elearning/younkın/driveMotorEquations.pdf> (10.01 2013).
- Apostolopoulos, T., Vlachos, A., 2011. Application of the firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem. International Journal of Combinatorics, 2011(1), 11-34.
- Belgin, Ö., 2007. Haberleşme şebekelerinin tasarımında sezgisel yaklaşımlar: değişken komşu arama, kuş sürüsü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chen, J., Ren, Z., Fan, X., 2006. Particle swarm optimization with adaptive mutation and its application research in tuning of PID parameters. Systems and Control in Aerospace and Astronautics, 19-21 Ocak, Çin, 994-999.
- Coşkun, İ., Işık, M.F., 2004. Position and speed control of servomotor using microcontroller. G.U. Journal of Science, 17(3), 115-125.
- Çura, T., 2008. Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 173 s.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A., 1991. The ant system: an autocatalytic optimizing process. Dipartimento di Elettronica, Milano, 91-107.
- Gözde, H., Kocaarslan, İ., Taplamacıoğlu, M.C., Çam, E., 2008. İki bölge güç sisteminde parçacık sürüsü algoritması ile yük-frekans kontrolü

optimizasyonu. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO'08, 26-30 Kasım, Bursa, 212-216.

Gözde, H., Taplamacıoğlu, M.C., Kocaarslan, İ., Şenol, M.A., 2010. İki bölgele arısırmalı termal güç sisteminin yük-frekans kontrolü için parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı PI-kontrolör. Isı Bilimi ve Tekniğı Dergisi, 30(1), 13-21.

Hurmalı, G.K., 1992. Servo denetim sistemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Işık, M.F., 2002. Servo sistemin mikrokontrolör (PIC) ile denetimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Jalilvand, A., Kimiyaghdam, A., Ashouri, A., Mahdavi, M., 2008. Advanced particle swarm optimization-based PID controller parameters tuning. 12th IEEE International Multitopic Conference, 23-24 Aralık, Karachi, 429-435.

Kani, A.N., 1999. Advanced Control Theory. RBA Publications, Chennai, 550 s.

Kennedy, J., Eberhart, R., 1995. Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, 27 Kasım-1 Aralık, ABD, 1942-1948.

Kim, D.H., 2007. GA-PSO based vector control of indirect three induction motor. Applied Soft Computing, 7(2), 601-611.

Kim, D.H., Hirota, K., 2008. Vector control for loss minimization of induction motor using GA-PSO. Applied Soft Computing, 8(4), 1692-1702.

Kuo, B.C., Tal, J., 1978. Dc Motors and Control Systems. SRI Publishing, ABD, 606 s.

Küçüksille, E., 2002. Servomotorların bulanık mantık yöntemi ile kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kocaarslan, İ., Çam, E., Tiryaki, H., 2004. An investigation of cleanness in boilers of thermal power plants with fuzzy logic controller. 2nd International Conference on TPE, 6-8 Eylül, Iran, 668-672.

Lieslehto, J., 2001. PID controller tuning using evolutionary programming. American Control Conference, 25-27 Haziran, ABD, 2828-2833.

Liu, C., Yan, X., Liu, C., Wu, H., 2011. The wolf colony algorithm and its application. Chinese Journal of Electronics, 20(2), 212-216.

- Mahony, T.O., Downing, C.J., Fatla, K., 2000. Genetic algorithm for pid parameter optimization: minimizing error criteria. *Process Control and Instrumentation*, 26-28 Temmuz, İskoçya, 148-153.
- Mamur, T., 1996. Fırçasız servomotorlar, yapıları ve kontrol esasları. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M., 1999. A design of self-tuning PID controllers using a genetic algorithm. *American Control Conference*, 2-4 Haziran, San Diego, 1361 – 1365.
- Ortaç, Y., Özel, C., Alli, H., 2004. Genetik algoritmalar ile iki kademeli düz dişli redüktör mekanizmaları için optimum hacim ve ağırlık tasarımı. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*, 23-25 Haziran, İstanbul, 135-140.
- Özkan, A., 1999. PLC ve SCADA destekli pozisyon kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., 2011. Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması. *6th International Advanced Technologies Symposium IATS'11*, 16-18 Mayıs, Elazığ, 175-180.
- Mazumder, P., Rudnick, E.M., 1999. *Genetic Algorithms for VLSI Design Layout&Test Automation*. Prentice Hall Inc, New Jersey, 338 s.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., 2009. GSA: a gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232–2248.
- Tamer, S., Karakuzu, C., 2006. Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması ve benzetim örnekleri. *ELECO 2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu*, 6-10 Aralık, Bursa, 302-306.
- Tang, K.S., Man, K.F., Kwong, S., He, Q., 1996, Genetic algorithms and their applications. *Signal Processing Magazine*, 13(6), 22-37.
- Westcott, J.H., 1954. The minimum moment of error squared criterion: a new performance criterion for servo mechanisms. *Measurements Section*, 101(83), 471-480.
- Yang, B., Chen, Y., Zhao, Z., 2007. Survey on applications on particle swarm optimization in electric power systems. *International Conference on Control and Automation*, 30 Mayıs- 1 Haziran, Çin, 481-486.
- Yang, X.S., 2009. Firefly algorithms formultimodal optimization. *Proceedings of the Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, Heidelberg, 169-178.

- Yang, X.S., 2010. Firefly algorithm, levy flights and global optimization. Research and Development in Intelligent Systems, London, 209-218.
- Yüksel, İ., 2011. Otomatik kontrol sistem dinamiği ve denetim sistemleri. Nobel yayınevi, Ankara, 401 s.
- Ziegler, J.G, Nichols, N.B., 1942. Optimum settings for automatic controllers. Transactions of the A.S.M.E., A.B.D., Kasım, 759–768.

**ÖZGEÇMİŞ****Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : ÇETİN, Erhan  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 20.02.1987 – İstanbul  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (364) 227 45 33 / 1242  
e-mail : erhancetin@hitit.edu.tr

**Eğitim**

<b>Derece Tarihi</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet</b>
Lisans	Trakya Üniversitesi/Makine Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	İsmail Rüştü Olcay Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı Lise)	2005

**İş Deneyi**

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2011-	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

**Yabancı Dil**

İngilizce

**Yayımlar**