

## Dört Pervaneli İnsansız Hava Araçlarında PID Kazanç Optimizasyonu

Hakan Yılandil<sup>1\*</sup>, Mehmet İşcan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>1\*</sup>[hakan.yilandil@std.yildiz.edu.tr](mailto:hakan.yilandil@std.yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup>[miscan@yildiz.edu.tr](mailto:miscan@yildiz.edu.tr)

**Özetçe** – Bu makalede, dört pervaneli bir insansız hava aracı (DPIHA) için tasarlanan duruş ve yükseklik kontrolörlerinin parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirilmiştir. PID kontrolörlerinin uygun parametrelerinin belirlemek için Ziegler-Nichols (ZN) Yöntemi, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Gradyan (GD) Yöntemi uygulanmıştır. DPIHA kontrolörlerinin bu 3 yöntemle kazanç değerleri optimizasyon teknikleri ile hesaplanarak diğer PID kontrolcü tasarımlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Sunulan çalışmada ZN tasarımının simülasyon sonuçlarında yüksek aşma ve yerleşme süresi gözlemlenmiştir. Ayrıca GD ve PSO yöntemlerinde yerleşme süresinde %6, aşım değerlerinde %0,8 fark ile iki yöntemin birbirlerine yakın performansa ulaştığı gösterilmiştir. Bunun yanında GD, aşma değeri açısından en iyi sonuçlara ulaşmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde optimize edilmiş PID denetleyici parametrelerinin standart PID denetleyiciye göre yerleşim süresinde %53,9, aşım değerlerinde %91,94 daha doğru kontrol ve stabilite sağlayarak DPIHA uçuş performansını iyileştirdiği söylenebilmektedir. Sunulan metotla birlikte optimize edilen kontrolcü katsayılarının uçuş deneyimini ve kontrolcü performanslarını geliştirebildiği kanıtlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – dört pervaneli insansız hava aracı, optimizasyon, Ziegler-Nichols, gradyan, parçacık sürü optimizasyonu

**Abstract** – This article describes the optimization of the parameters of attitude and altitude controllers designed for quadcopters. Ziegler-Nichols (ZN) Method, Particle Swarm Optimization (PSO) and Gradient (GD) Method were applied to determine the appropriate parameters of PID controllers. The gain values of the quadcopter controllers with these 3 methods were calculated with optimization techniques and compared with other PID controller designs. In the presented study, high overshoot and settling times were observed in the simulation results of the ZN design. In addition, it has been shown that the GD and PSO methods achieve close performance to each other, with a difference of 6% in settling time and 0.8% in overshoot values. In addition, GD achieved the best results in terms of overshoot value. When the results are evaluated, it can be said that the optimized PID controller parameters improve the quadcopter flight performance by providing 53.9% more accurate control and stability in settling time and 91.94% in overshoot values compared to the standard PID controller. It is proven that the controller coefficients optimized with the presented method can improve the flight experience and controller performances.

**Keywords** – quadcopter, optimization, Ziegler-Nichols, gradient, particle swarm optimization

### I. GİRİŞ

Son yıllarda, insansız hava araçlarından biri olan dört pervaneli insansız hava araçları, sivil ve askeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsansız sistemlerin kullanımı, insanlar için tehlikeli olan alanlarda güvenli bir şekilde gözlem yapma ve sorunları çözme olanağı sağlar. Nükleer reaktör kontrolü, yangın güvenliği izleme, elektrik hattı kontrolü, kolluk kuvvetleri denetimi, tarımsal hizmetler, trafik verisi toplama ve meteorolojik gözlemler gibi sivil alanlarda kullanıldığı gibi, istihbarat toplama, sınır gözetimi ve savunma gibi birçok askeri uygulamada da kullanılmaktadır [1-2].

Dört pervaneli insansız hava aracı dinamikleri, dört rotor arasındaki karmaşık etkileşimlerden kaynaklanan yüksek derecede lineer olmayan bir yapıya sahiptir ve sistem doğuştan kararsızdır [1]. Bu nedenle, dört pervaneli insansız hava aracının belirlenen alanlarda başarılı ve verimli bir şekilde performans göstermesi için matematiksel modelleme ve kontrol parametrelerinin dikkatli seçilmesi gereklidir. Daha önce yapılan birçok çalışmada dört pervaneli insansız hava

aracı dinamiği belirli bir noktada doğrusallaştırılmış (hovering) ve Oransal-İntegral-Türevsel (PID) denetleyici gibi klasik kontrol yöntemleri kullanılmıştır [1]. Bu yöntemlerin kullanılmasının nedenleri, klasik bir kontrolcünün sisteme uygulanmasının basitliği ve pratik uygulamalardaki güvenilirliğinin yüksek olmasıdır. [6-9]. Ancak, Ziegler-Nichols (ZN) gibi geleneksel yöntemlerle belirlenen PID kontrolcü katsayılarının kullanılması, dört pervaneli insansız hava aracının optimal kontrolünü garanti etmeyebilir [3]. Bu temel olarak, yalnızca bir noktada lineerleştirilmiş bir modelin kazanç hesaplamalarında kullanılması ve bazı etkilerin göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub> ve K<sub>d</sub> kontrolcü katsayı değerleri birbirleriyle uyumsuz olduğunda sistem kararsız hale gelebilir ve ZN gibi geleneksel yöntemlerle hesaplanan kontrolcü katsayıları sistem kararlılığını etkileyebilir, önemli hasarlara neden olabilir [1-4]. Kısacası, tasarlanan PID kontrolcüsü, gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılan çeşitli faktörler nedeniyle performansını zayıflatabilmektedir veya istenilen performansı sergileyemebilmektedir. Bu faktörler, donanım kısıtlamaları,

yapısal sınırlamalar, dinamik çevresel değişkenler ve sensörlerden gelen gürültü sinyallerini içermektedir. Bu etkilerin değerlendirilmesi ve kontrol katsayılarının belirlenmesi, sistem performansında ve kontrol katsayısı hesaplamalarında iyileştirmelere yol açabilecektir.

PID kontrolcüsünün performansı, uygun algoritmalar kullanılarak kazançların optimize edilmesiyle önemli ölçüde artırılabilir, bu da beklenmeyen durumlara karşı daha kararlı bir sistem elde edilmesini sağlar. Bu amacı gerçekleştirmek için, bazı çalışmalarda yapay sinir ağları, çevrimiçi öğrenme yöntemleri ve meta-sezgisel algoritma yöntemleri gibi alternatif yöntemlerin incelendiği ve bunların klasik kontrol hesaplama yöntemlerinden daha değişken ortamlara ve dinamiklere uygulanabilir hale getirildiği gösterilmiştir [2-3-9].

Birçok uyarlanabilir kontrol çalışması, yavaş yavaş mühendislik problemlerini çözmek için meta-sezgisel algoritmaların kullanımına odaklanmaktadır [1-3-4-5]. Genetik algoritmalar (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Örneğin araştırmacılar, bir Quadcopter PID kontrol cihazı için optimum kazançlar elde etmek amacıyla GA, CSA (Crow Search Algorithm) ve PSO yöntemlerini kullanarak kontrolör katsayılarını, aşma, yükselme süresi ve yerleşme süresi gibi parametreleri hesaba katarak hesapladılar. Sonuçlar GA, CSA ve PSO algoritmaları ile hesaplanan kontrolörlerin klasik Ziegler-Nichols yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini, PSO yönteminin ise en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir [3].

Benzer şekilde araştırmacılar, PID katsayılarını optimize etmek için ABC, ACO ve PSO gibi sürü zekası tabanlı meta-sezgisel algoritmalar kullanarak klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir [4]. Ayrıca bu yöntemleri klasik yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Diğer araştırmacılar GA ile hesaplanan katsayıların klasik yöntemler kullanılarak hesaplanan katsayılardan daha verimli olduğunu göstermiştir [1].

İncelenen çalışmalar doğrultusunda, DPİHA dinamikleri ve değişen ortam dinamikleri nedeniyle geleneksel kontrolörlerle hesaplanan PID kontrol parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Kontrol parametreleri için optimizasyon algoritmalarının belirlenmesi sistem performansını önemli ölçüde artırabilir.

Bu çalışmada ilk olarak DPİHA'nın doğrusal olmayan matematiksel modeli elde edilmiştir. Bu bölümlerde DPİHA'nın dinamik ve kinematik denklemleri incelenmiştir. Daha sonra sektörde sıklıkla tercih edilen klasik PID denetleyici anlatılmış ve PID kazanç parametrelerini hesaplamak için sırasıyla Ziegler-Nichols, Gradyan iniş ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmalarını gerçeklemiştir. Gradyan yönteminde başlangıç değerleri, ZN yönteminde elde edilen orantısal ve türev parametreleri ile kullanılmış ve yönteme dair genel bilgiler verdikten sonra simülasyon sonuçlarını tartışılmıştır.

## II. METOT

### A. Ziegler-Nichols Yöntemi

Ziegler-Nichols yöntemi, PID (Orantılı-İntegral-Türev) kontrolör parametrelerini ayarlamak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, sistemden elde edilen sürekli zaman yanıtına göre PID denetleyici parametrelerini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Bu bölümde açılarının ( $\phi, \theta, \psi$ ) ve z'nin kontrolü için PD (Orantılı-Türev) parametrelerini ayarlamak amacıyla Ziegler-Nichols kapalı döngü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, kapalı çevrim sistemlerin salınım davranışına karşılık gelen kritik kazançlara (Kc) ve kritik periyotlara (Tc) dayanmaktadır. Kc değeri, tanımlanan transfer fonksiyonlarının her biri ile serileştirilmiş orantısal düzelticinin Kp kazancının artırılmasıyla veya Routh kriteri kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu işlemde sistemler salınmaya başlayınca kadar Kp değeri artırılmıştır ve salınım başladığında Kc değeri elde edilmiştir. Kritik periyot Tc, Kc kazancının düzelticisi ile kapalı bir döngüde sistem tepkisinin salınım periyodu olarak tanımlanır. Yani sistemin salınmaya başlayacağı bir periyot süresi belirlenir. Ziegler-Nichols yöntemi, elde edilen Kc ve Tc değerlerine göre PD kontrol parametrelerini belirler. Bu parametreler sistem davranışını stabilize etmek ve istenen performansı elde etmek için kullanılır [13].

Kc ve Tc değerleri hesaplandıktan sonra Tablo 1 kullanılarak PD değerleri hesaplanabilir.

Tablo 1. Ziegler-Nichols Tablosu

Kontrol Tipi	Kp	Ti	Td	Ki	Kd
P	0.5Kc	-	-	-	-
PI	0.45Kc	0.83Tc	-	0.54Kc/Tc	-
PD	0.8Kc	-	0.125Tc	-	0.10KcTc
PID	0.6Kc	0.5Tc	0.125Tc	1.2Kc/Tc	0.075KcTc

### B. Gradyan Yöntemi

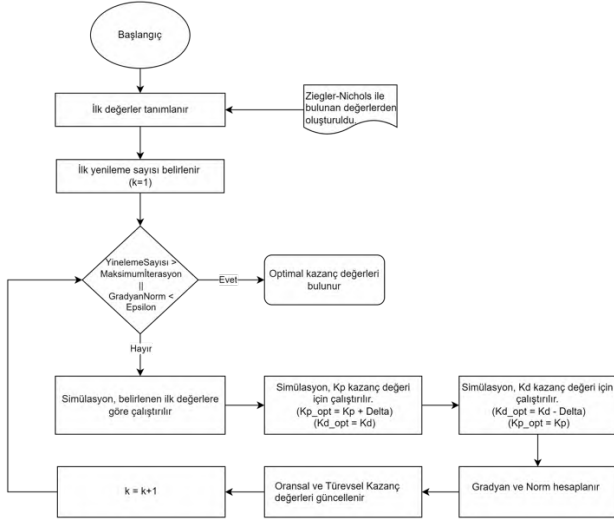
Gradyan yöntemi PID kontrolünde kullanılan parametre ayarlama yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, kontrol sisteminin performansını artırmak ve istenen yanıtı elde etmek için PID parametrelerini otomatik olarak ayarlamayı amaçlamaktadır.

Gradyan yöntemi, kontrol sisteminin hata fonksiyonunu optimize etmek için gradyan (eğim) hesaplamalarını kullanır. Bu yöntemde PID parametrelerinin hata fonksiyonu üzerindeki etkileri incelenmekte ve parametreler gradyan hesaplamaları ile optimize edilmektedir. Hata fonksiyonunun gradyanı, parametrelerin belirli bir yönde (artış veya azalış) güncellenmesi gerektiğini belirler.

Gradyan yöntemi, PID kontrol parametrelerini otomatik olarak ayarlayarak sistem davranışının iyileştirilmesinde, hataların azaltılmasında ve istenilen performansın elde edilmesinde önemli bir rol oynar. Böylece kontrol sistemlerinin verimliliği ve kararlılığı artırılarak istenilen hedeflere daha hızlı ve hassas bir şekilde ulaşılabilir.

Kontrolör parametreleri genellikle bir amaç fonksiyonunu en aza indirecek şekilde optimize edilir. Bu fonksiyon, gerçek sistemin çıkışı ve istenen çıkışı (ayar noktası) karşılaştırarak bir hata sinyali üretir. Kontrolör parametreleri bu hatayı en aza indirecek şekilde ayarlanır.

Gradyan metodu algoritmasının akış şeması Şekil 1 ile verilmiştir:



Şekil 1. Gradyan Metodu Algoritması

### C. Parçacık Sürü Optimizasyonu Metodu (Particle Swarm Optimization, PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş sürülerinin davranışlarından ilham alan doğal bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO, bir soruna en iyi çözümü bulmak için bir popülasyonun davranışını taklit eden bir dizi "parçacık" kullanır [3].

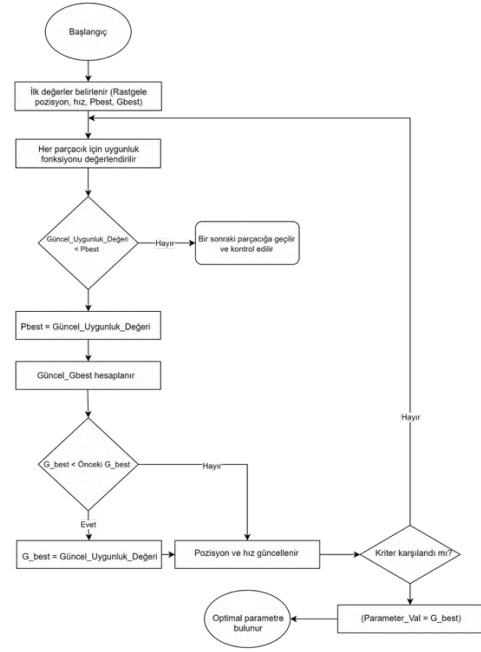
PSO algoritması, her parçacığın bir çözüm adayını temsil ettiği bir optimizasyon problemi üzerinde çalışır. Her parçacık bir konum ve hız vektörü taşır. Parçacıklar çözüm uzayında hareket ederek kendilerini ve diğer parçacıkları keşfederken bir denklemin hedef fonksiyonunu optimize etmeye çalışırlar. Her parçacığın geçmiş deneyimlerinden öğrenerek en iyi çözüme ulaşmaları için yönlendirilirler. Böylece parçacıklar zamanla problemin en iyi çözümüne yaklaşırlar.

Her yinelemede parçacıklar arama uzayındaki yeni konumlarını hesaplar. İyi sonuçlar elde edildiğinde, bu iyileştirilmiş konumlar diğer parçacıkları yönlendirir ve sürünün hareketlerini etkiler. Bu şekilde parçacıklar sürü içinde bilgi paylaşarak birbirlerinden öğrenirler ve daha iyi çözümler keşfederler [11].

PSO algoritması tekrarlanan adımlarla çalışır. Her adımda parçacıkların konumları ve hızları güncellenir, en iyi bilinen konumlar takip edilir ve sürü içindeki bilgiler güncellenir. Süreç tekrarlanır ve bunu yaparak sonunda tatmin edici bir çözümün bulunacağı umulur, ancak garanti edilmez.

Bu çalışmada, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemini kullanarak DPİHA'nın dönme hareketleri ( $\phi, \theta, \psi$ ) için üç bağımsız PD kontrolörün optimal parametrelerinin bulunması hedeflenmektedir. Bu nedenle, olası çözümleri [0, 20] içerecek kadar geniş bir arama aralığından  $N=10$  parçacığı (PD kazancı) başlatılır. Hız vektörü, önyargıdan kaçınmaya yardımcı olmak ve araştırma alanının sınırlarını ihlal etmemek için küçük rastgele sayılarla başlatılır [12].

PSO algoritmasının akış şeması Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 2. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

## III. SİMÜLASYON SONUÇLARI

### A. Tasarım Değişkenleri

Tasarlanan sistem için optimize edilmeye çalışılan sistem çıktıları aşağıda listelenmiştir. Bu çıkışların değerleri belirli koşullar altında en aza indirilmeye çalışılmıştır.

#### 1) Yerleşme Süresi

Yerleşme süresi, bir PID kontrol cihazının istenen ayar noktasına ulaştıktan sonra kararlı bir çıkışa ulaşması ve bunu sürdürmesi için gereken süreyi ifade etmektedir. Otomatik kontrol sistemleri için önemli bir parametredir çünkü ayar noktasına mümkün olduğunca hızlı ve doğru bir şekilde ulaşış bu değeri korumaları gerekmektedir.

#### 2) Yükselme Süresi

Yükselme süresi, bir PID kontrol cihazının istenen ayar noktasına ulaşması için gereken süredir. Kontrolörün ayar noktasına ulaşabileceği hızın bir ölçüsüdür. Daha düşük bir yükselme süresi, kontrolörün ayar noktasına daha hızlı ulaşabileceğini göstermektedir.

#### 3) Aşım

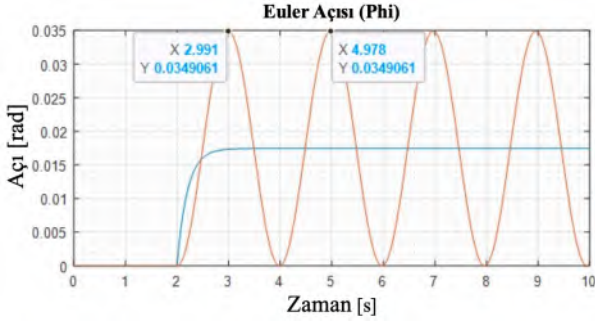
Aşım, bir PID kontrol cihazının çıkış sinyalinin ayar noktası değerinin ötesinde geçici olarak artmasını ifade etmektedir. Bu, denetleyicinin ayar noktasını aştığı ve ardından geri döndüğü anlamına gelir. Aşım, sistem kararsızlığına, titreşimlere ve sensör hatalarına neden olabilmektedir.

#### 4) Kararlı Durum Hatası

Kararlı durum hatası, istenen ayar noktası ile kararlı durumdaki bir PID kontrol cihazının gerçek çıkışı arasındaki farkı ifade eder. Kontrolörün ayar noktası ile çıkış arasındaki farkı tamamen ortadan kaldıramamasından kaynaklanır. Kararlı durum hatası, denetleyici kazançlarının yanlış ayarlanmasından veya sistemdeki diğer faktörlerden kaynaklanabilmektedir.

### B. Ziegler-Nichols Yöntemi Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde daha önce açıklandığı gibi salınım yapacak şekilde oransal değer hesaplanır ve bu değer kritik değer olarak alınır. Daha sonra periyot hesaplanır ve kazanç değerleri tablodan bulunur. Kritik değer hesaplanırken aşağıda verilen modelin çıktısı kullanılabilir. Burada kazanç değeri 10 seçildiğinde sistemin cevabı salınım içerisine girmektedir. Bu nedenle bu değer kritik değer olarak alınır. Ayrıca salınım periyodu da buradan belirlenir.



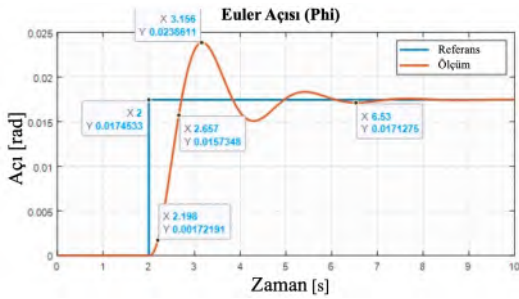
Şekil 3. Ziegler-Nichols Kritik Değer Hesaplaması

Şekil 3 ile hesaplanan kritik değerler ve tablo kullanılarak PD kontrolörün değerleri Tablo 2 ile verilmiştir.

Tablo 2. Ziegler-Nichols Yöntemi ile Hesaplanan Değerler

	$K_c$	$T_c$	$K_p$	$K_d$
Değer	10	2	8	2

Kazanç değerleri hesaplandıktan sonra modelin cevabı incelenmiştir. Modelin tepkisi aşağıda verilen hesaplanan değerler kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 4. Ziegler-Nichols Yöntemi ile Hesaplanan PD Kazanç Simülasyonu

Sistem yanıtının yükselme zamanı, ayar zamanı ve aşım değerleri Tablo 3 ile verilmiştir.

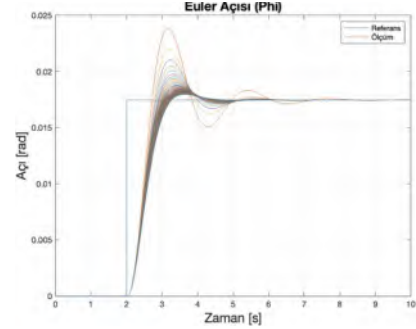
Tablo 3. Ziegler-Nichols Yöntemi ile Hesaplanan Parametre Değerleri

Parametre İsmi	Değer
Yerleşme Süresi [s]	4.53 s
Yükselme Süresi [s]	0.014 s
Aşım [%]	%36.71

Tablo 3 incelendiğinde sistemin aşım değerinin yüksek olduğu ve yerleşme süresinin uzun olduğu görülmektedir. Daha düşük bir hedef aşımı ve hızlı bir yerleşme süresi hedeflenir. Bu doğrultuda kazançlar 2 farklı yöntemle hesaplanmıştır. Aşağıda sırasıyla Gradyan algoritması ve PSO algoritması kullanılarak elde edilen kazanç değerlerinin simülasyon sonuçları yer almaktadır.

### C. Gradyan Yöntemi Simülasyon Sonuçları

Ziegler-Nichols Yöntemi'nden elde edilen oransal ve türev katsayıları ile başlangıç değerleri oluşturuldu. Maksimum yineleme sayısı 200, Lambda değeri 0,5 ve Delta değeri 0,00001 olarak ayarlanmıştır. Performans fonksiyonumuz referans sinyalinin karesi ile kazanç değerlerinin karesinin toplamı olarak ifade edilmiştir. Algoritma çalıştırıldığında 55 iterasyona ait grafikler Şekil 5 ile verilmiştir.



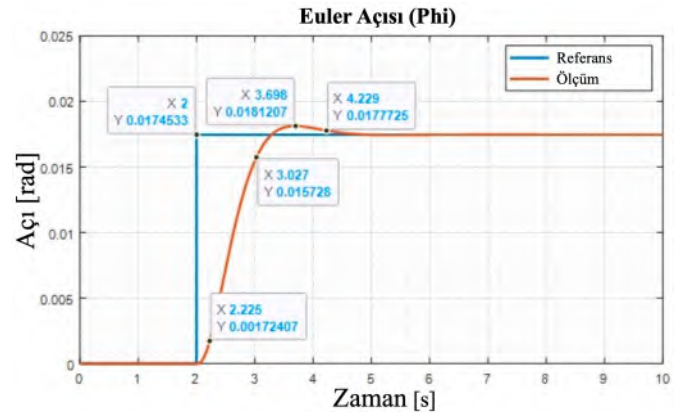
Şekil 5. Gradyan Yöntemi Değer Hesaplaması Adımları

Bu durumda kodun bulduğu kazanç değerleri ve iterasyon sayıları Tablo 4'te olduğu gibidir.

Tablo 4. Gradyan Yöntemi ile Hesaplanan Kazanç Değerleri

Parametre İsmi	Değer
$K_p$	7.338
$K_d$	4.019
İterasyon Sayısı	55

Şekil 5'te görülebileceği gibi başlangıçta yüksek aşım ve ayar süresine sahip olan modelin çıktısı, her iterasyon adımıyla iyileşerek optimum çıktı elde etme yönünde ilerlemiştir. Algoritmanın hesapladığı kazanç değerleri kullanıldığında kontrolörün verdiği çıktı Şekil 6 ile verilmiştir.



Şekil 6. Gradyan Yöntemi ile Hesaplanan PD Kazanç Simülasyonu

Sistem yanıtının yükselme zamanı, ayar zamanı ve aşım değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Gradyan Yöntemi ile Hesaplanan Parametre Değerleri

Parametre İsmi	Değer
Yerleşme Süresi [s]	2.092 s
Yükselme Süresi [s]	0.014 s
Aşım [%]	%2.923

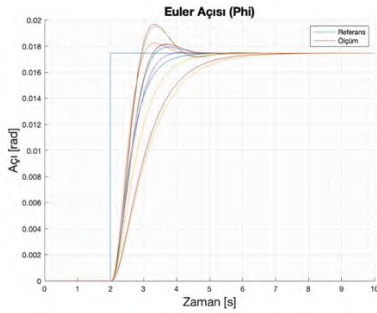
Şekil 6 ve Tablo 5 incelendiğinde aşımın neredeyse hiç olmadığı ve yerleşme süresinin yeterince hızlı olduğu görülmektedir.

#### D. Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi Simülasyon Sonuçları

Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi kapsamında olası çözümleri  $[0, 20]$  içeren bir arama aralığından  $N=10$  parçacığı (PD kazancı) başlatılır. Hız vektörü küçük rastgele sayılarla başlatılır. Bu durumda algoritmanın ürettiği her yineleme Şekil 7 ile verilmiştir. Tablo 6'da algoritmanın hesapladığı kazanç değerleri verilmiştir.

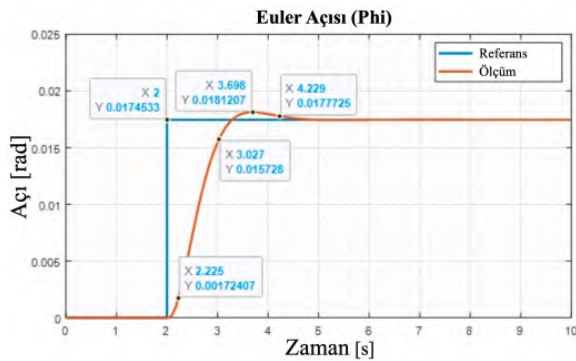
Tablo 6. Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi ile Hesaplanan Kazanç Değerleri

Parametre İsmi	Değer
$K_p$	6.425
$K_d$	3.650
İterasyon Sayısı	50



Şekil 7. Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi Değer Hesaplaması Adımları

Şekil 7'de görülebileceği gibi 50 yineleme olmasına rağmen kazanç değerlerinin çoğu simülasyon yanıtıyla örtüşmüştür. Gradyan yöntemiyle karşılaştırıldığında daha yavaş bir yakınsama oranında ilerlemiştir. Algoritmanın hesapladığı kazanç değerleri kullanıldığında kontrolörün verdiği çıktı Şekil 8 ile verilmiştir.



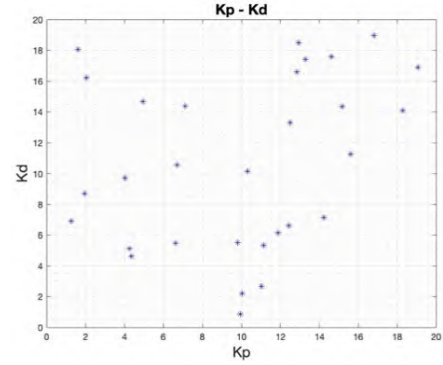
Şekil 8. Gradyan Yöntemi ile Hesaplanan PD Kazanç Simülasyonu

Sistem yanıtının yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım değerleri Tablo 7 ile verilmiştir.

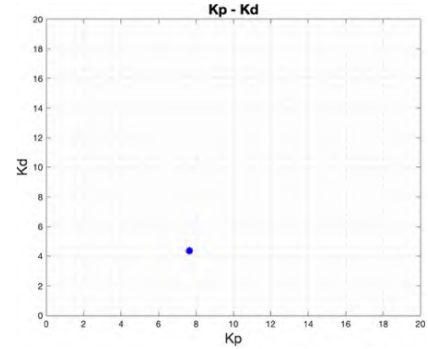
Tablo 7. Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi ile Hesaplanan Parametre Değerleri

Parametre İsmi	Değer
Yerleşme Süresi [s]	2.229 s
Yükselme Süresi [s]	0.014 s
Aşım [%]	%3.824

Şekil 9 ve Şekil 10 ile parçacıkların başlangıç ve son durumdaki konumları gösterilmektedir.



Şekil 9. Parçacık Sürü Optimizasyonu Başlangıç Durumu



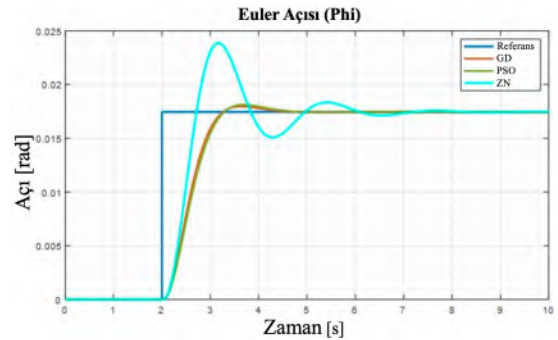
Şekil 10. Parçacık Sürü Optimizasyonu Simülasyon Son Durum

## IV. TARTIŞMA

### A. Metotların Karşılaştırılması (Ziegler-Nichols Yöntemi, Gradyan Yöntemi, Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi)

DPİHA'da kontrolör parametre performansı için ZN (Ziegler-Nichols), PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritması ve Gradyan yöntemi karşılaştırılmasının yapılması ve sonuçların analiz edilmesi önem arz etmektedir.

DPİHA modelinin 3 farklı algoritma ile hesaplanan kazanç değerlerine göre verdiği tepkiler Şekil 11 ile gösterilmiştir.



Şekil 11. Başlangıç ve Son Durum Kıyaslaması

Tablo 8 ile her bir algoritmanın hesapladığı parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 8. Üç Farklı Yöntemle Hesaplanan Parametre Değerleri

Parametre İsmi	ZN	GD	PSO
Yerleşme Süresi [s]	4.53 s	2.092 s	2.229 s
Yükselme Süresi [s]	0.014 s	0.014 s	0.014 s
Aşım [%]	%36.71	%2.923	%3.824
İterasyon Sayısı	1	55	50
Yerleşme Süresi İyileştirme Oranı	-	%53.9	%50.85
Yükselme süresi İyileştirme Oranı	1	1	1
Aşım Değeri İyileştirme Oranı	-	%91.94	%89.64

Şekil 11 ve Tablo 8'de görüldüğü gibi ZN yöntemi, kazanç değerlerinde yüksek aşma ve yerleşme süresine neden olmaktadır. GD ve PSO yöntemleri benzer sonuçlar vermektedir. GD, aşma açısından diğer yöntemlere göre daha iyi performans göstermektedir. GD yönteminde iterasyon sayısı 55 iken PSO yönteminde iterasyon sayısı 50'dir. Ancak GD yönteminin simülasyon süresi koddaki yakınsama oranları açısından daha kısadır. Aralarında yaklaşık 25 kat fark olmaktadır.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada klasik kontrol yöntemi (ZN), PSO algoritma yöntemi ve Gradyan yöntemi ile hesaplanan PD denetleyici parametrelerinin Quadcopter üzerindeki performansları incelenmiştir. Bunun için sistemin matematiksel modeli SIMULINK ortamında doğrusal olmayan bir şekilde modellenmiştir. GD ve PSO algoritmaları MATLAB'da kod edilerek yazılmıştır. Araştırmada hazır MATLAB araç kutuları kullanılmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi algoritmanın Gradyan Yöntemi olduğu görülmüştür. Ziegler-Nichols yöntemiyle hesaplanan katsayılarla sistemin tepkisi GD yöntemi ve PSO algoritmasına göre oldukça kötüdür. Sistemde GD yöntemi ve PSO algoritmaları ile hesaplanan kazanç değerlerinin cevapları birbirine yakındır. Ancak GD yönteminde başlangıç değerlerinin seçimi önemli olduğundan farklı başlangıç değerleri için bu sonuçlar farklılık gösterebilir. Gradyan yöntemi kullanılacaksa ve başlangıç değerleri ZN yönteminde hesaplanan değerlerle birlikte kullanılırsa sistemin tepkisini oldukça iyileştireceğini söylenebilir. Çalışmada her eksen için matematiksel model oluşturulmuş olup eksenler birbirine benzer olduğundan sadece 1 eksenindeki simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, diğer eksensel simülasyon sonuçları da analiz edilebilir ve elde edilen bulguların genelleştirilmesi için farklı senaryolar üzerinde deneyler yapılabilir. Ayrıca, PD denetleyici yerine farklı kontrol stratejileri veya farklı optimizasyon algoritmaları kullanılabilir. Bu çalışmanın kapsamını genişletmek için, gerçek dünya koşullarına daha yakın senaryoları içeren deneysel çalışmalar da yapılabilir. Bununla birlikte, denetleyici tasarımında kullanılan parametrelerin fiziksel uygulanabilirlik ve sistem kararlılığı üzerindeki etkilerini incelemek için daha derinlemesine analizler yapılabilir. Bu çalışmanın sonuçlarını genelleştirmek için farklı tip sistemlerde benzer çalışmaların yapılması da önemli bir adım olabilir.

## REFERANSLAR

- [1] Khuwaja, K., Tarca, I. C., Tarca, R. C. (2018). PID controller tuning optimization with genetic algorithms for a quadcopter. *Recent Innovations in Mechatronics*, 5(1.), 1-7.
- [2] Tran, H. K., Nguyen, T. N. (2018). Flight motion controller design using genetic algorithm for a quadcopter. *Measurement and Control*, 51(3-4), 59-64.
- [3] Sheta, A., Braik, M., Maddi, D. R., Mahdy, A., Aljahdali, S., Turabieh, H. (2021). Optimization of pid controller to stabilize quadcopter movements using meta-heuristic search algorithms. *Applied Sciences*, 11(14), 6492.
- [4] Aziz, K. A. B. A. (2020). A Comparative Study on the Tuning of the PID Flight Controllers Using Swarm Intelligence. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 1(02), 80-91.
- [5] Sadigh, R. S. M. (2018, October). Optimizing pid controller coefficients using fractional order based on intelligent optimization algorithms for quadcopter. In 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM) (pp. 146-151). IEEE.
- [6] Bouabdallah S, Noth A and Siegwart R. PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor. In Proceedings of IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, Sendai, Japan, 28 September–2 October 2004.
- [7] Bouabdallah S. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. Federal Institute of Technology in Lausanne, Lausanne, Switzerland, 2007, PhD Thesis.
- [8] Martins FG. Tuning PID controllers using the ITAE criterion. *International Journal of Engineering Education* 2005; 21(5): 867–73.
- [9] Ang KH, Chong G and Li Y. PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems and Technology* 2005; 13: 559–76.
- [10] AUTOPILOT DESIGN FOR A QUADROTOR, MEHMET SAMİ BÜYÜKSARIKULAK, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, Master Thesis
- [11] A Comprehensive Survey on Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications
- [12] Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle (UAV) control through Particle Swarm Optimization (PSO)
- [13] Ziegler, J.G Nichols, N. B. (1942). "Optimum settings for automatic controllers" (PDF). *Transactions of the ASME*. 64: 759–768. Archived from the original (PDF) on 2017-09-18.
- [14] MODELING AND CONTROL OF A QUADROTOR, AHMET DEMİRYÜREK, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Master Thesis