



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 01.08.2019
Kabul Tarihi :29.11.2019

Received Date : 01.08.2019
Accepted Date : 29.11.2019

MOBİL ROBOT KOLONUNPSO İLE STABİLİZASYONU

STABILIZATION OF MOBILE ROBOT ARM USING PSO

Aziz ULUSOY ¹(ORCID:0000-0002-8287-8639)

Mahit GÜNEŞ ^{1*} (ORCID:0000-0002-1552-3889)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mahit GÜNEŞ, mgunes@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu makalede öncelikle tasarlanan robot tanıtılmaktadır. PID denetleyicinin yapısı, Ziegler Nichols (ZN) yöntemi ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması hakkında bilgi verilmektedir. Daha sonra PSO algoritmasının kontrol sistemine uygulanmasından bahsedilmektedir. Mobil robot kolunu kontrol eden Genuino 101'in üzerinde bulunan USB portundan sonuçlar alınmakta ve Matlab' ta grafiklere dönüştürülmektedir. Mobil robot kolunun dikey ve yataydaki konumu jiroskop ve ivmeölçerler ile belirlenmektedir. Mobil robot kolun konumunda değişim meydana geldiğinde mobil robot kolunun bilek (M4 motoru) ve bilek dönüş (M5 motoru) motorlarının kontrolü yapılmaktadır. PID denetleyici parametreleri kapalı çevrim ZN yöntemi ile belirlenip sonuçlar gerçek zamanlı olarak alınmaktadır. PSO algoritması kullanılarak elde edilen PID parametreleri denetleyicilere uygulanmakta ve sonuçlar gerçek zamanlı olarak karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre PSO+PID kontrolün Klasik PID kontrole göre daha az hata yaptığı ve en kısa sürede istenen referans konumuna ulaştığı gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Sürü Optimizasyonu, Ziegler Nicholas, PID

ABSTRACT

In this paper, at first it is introduced designed robot. The information is given about that the supervisor structure of PID controller, Ziegler Nichols (ZN) method and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. Later, it is mentioned that implementation of PSO to the control system. The results are taken from the USB port on the Genuino 101 which is controlling the mobile robot arm and these results are transformed graphics on Matlab. The horizontal and vertical position of the mobile robot arm is defined with gyroscope and accelerometer when the change of mobile robot arm (M4) and wrist turning (M5) motors rechecked. PID controller parameters are determined with closed cycle ZN method and the results are observed as real-time. PID parameters are obtained using PSO and these parameters are applied to the controllers the results are compared as real time. According to the obtained results it is observed that PSO + PID control makes less mistake than according to the classic PID control and it is observed that it reached the needed reference position in a short time.

Keywords: Particle Swarm Optimization , Ziegler Nichols , PID

GİRİŞ

Robotlar günümüzde birçok sektörde kullanılmakta ve her geçen gün robotlara olan ihtiyaç artmaktadır. Robotlar insanların hayatlarını kolaylaştırmakta ve insanlara daha konforlu bir yaşam sağlayabilmektedir (A. Bayrak,2007). Robotlar veya robot kolları bu görevleri yerine getirebilmeleri ve istenen amaca en uygun şekilde yüksek performans gösterebilmeleri için kontrol yöntemleri büyük önem arz etmektedir (K. Kayışlı ve M. Uğur, 2017). İstenilen işlemleri hızlı ve hassas bir şekilde yapabilmek için uygun kontrol yöntemleri seçilmelidir. Bu çalışmada mobil robot kolu tasarlanmış ve tasarlanan mobil robot kolunun kontrolü PID denetleyici ile yapılmıştır.

PID denetleyiciler ile kontrol edilen sistemlerde PID parametreleri sistemin kararlı çalışmasında büyük önem arz etmektedir. PID parametrelerinin uygun değerlerde seçilmesi sistemin performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada PID parametrelerinin belirlenmesinde ZN yöntemi ve optimizasyon yöntemlerinden olan PSO algoritması kullanılmaktadır (Gani ve vd., 2018; Keçecioğlu ve vd., 2018). PID parametrelerinin ZN yöntemi ile

belirlenmesi ile elde edilen kontrol yöntemi Klasik PID olarak isimlendirilmiştir. PSO algoritması ile PID parametrelerinin belirlendiği çalışma ise PSO+PID denetleyici olarak isimlendirilmiştir.

Bu çalışmada Klasik PID denetleyici ve PSO+PID denetleyici robot kolun kontrolü sağlanmış ve robot kolun çalışma kararlılıkları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar Klasik PID denetleyiciye göre PSO+PID denetleyici ile yapılan çalışmanın daha az hata ile ve en kısa sürede istenen referans konuma ulaştığı gözlemlenmiştir.

MOBİL ROBOT KOLUNUN TASARIMI

Mobil robot iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde mobil robotun alt kısmını oluşturan dört tekerlek ve her tekerleğinde çekirdeksiz DA motor bulunmaktadır. Bu dört adet çekirdeksiz enkoderli DA motor ve alüminyum mecanum teker sayesinde robot istenilen yöne anında dönebilmektedir. 45° ve katları açılarda tek hamle ile gidebilir. Bu dönüşleri sağlayabilmek için çapraz iki tekerlek durdurulup diğerleri hareket ettirildiğinde ilk konumuna göre 45° bir eksen üzerinde ileri geri götürülebilir veya sol tarafa 90°'lik bir açı ile hareket ettirmek istenirse sol taraftaki tekerleklerin birbirlerine doğru hareket ettirilip, sağ taraftaki tekerleklerin ikisinin birden birbirlerine göre dışarı doğru hareket ettirilmesi ile gerçekleşmektedir. Bu tekerlekler sayesinde 360° dönmesi çok kolaylıkla gerçekleşmektedir. Bunun içinde robotun bir yanındaki tekerlekleri aynı yöne diğer yanındaki tekerlekleri de bunun aksi yönüne doğru hareket ettirdiğimiz zaman bu hareket gerçekleşmektedir. Üzerinde bulunan ultrasonik ve kızılötesi sensörler sayesinde ön, arka, sağ ve sola çarpması engellemektedir. Tasarlanan mobil robotun birinci bölümünün resmi aşağıda Şekil 1 'de görülmektedir.



Şekil 1. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolunun Birinci Bölümü

İkinci bölüm ise robot koldan oluşmaktadır. Robot kol farklı objeleri taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Robot kolun ağırlığı 800 gr'dır. Maksimum çalışma uzanımı 80 cm, maksimum yüksekliği 52 cm, taban genişliği 14 cm, tutucu genişliği 90mm ve maksimum yük taşıma kapasitesi 250 gr'dır. Tasarlanan mobil robotun ikinci bölümünün resmi aşağıda Şekil 2 'de görülmektedir (URL1).



Şekil 2. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolunun İkinci Bölümü

Mobil robotumuz yukarıdaki iki bölümün birleşmesinden oluşmaktadır. Mobil robotumuz 40cm boyunda 36cm eninde 62cm yüksekliğindedir. Mecanum tekerleğin çapı 10 cm'dir. Mobil robotun toplam ağırlığı 5 kg 'dır.. Tasarlanan mobil robotun resmi aşağıda Şekil 3'de görülmektedir.



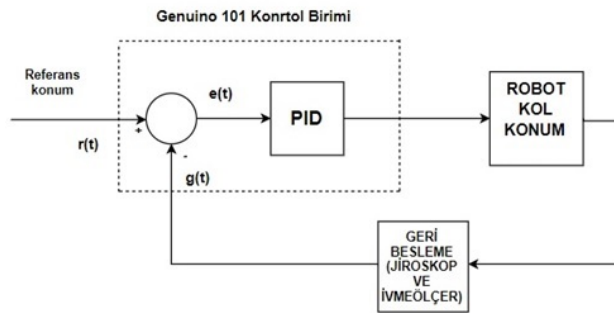
Şekil 3. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolu

YÖNTEM

PID Denetleyici Yapısı

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 denetleyicide işlenerek kontrol edilen sisteme gerekli çıkışı sağlamaktadır. Bu çıkış, sistemi kumanda etmek için kullanılan bir kontrol sistemidir (Songül S, 2014).

Robot kolun hareketini sağlayan motorların kontrol algoritması için PID kullanılmıştır. Bu kontrol algoritması uygulanması kolay, ayarlanacak parametre sayısı az olan negatif geri beslemeli kapalı çevrim kontrol algoritmasıdır. PID (Oransal-İntegral-Türev) kontrol basit yapısı nedeniyle endüstride sıkça kullanılan ve çok bilinen klasik kontrol yöntemlerinden biridir (G.Tasci ve G. Kucukyildiz, 2012; Kılıç ve vd., 2016). Bu kontrolün yapısı aşağıda blok şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. PID Algoritması Kontrol Şeması

Yukarıdaki blok şemada $r(t)$ referans sinyali, $g(t)$ geri besleme sinyali, $e(t)$ ise hata sinylidir.

$$e(t) = r(t) - g(t) \quad (1)$$

Aşağıdaki denklemde ise PID denetleyicinin matematiksel modeli görülmektedir. K_p , K_i , K_d parametreleri oransal, integral ve türev katsayılarıdır.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Ziegler Nichols Yöntemi

John Ziegler ve Nathaniel Nichols'un 1942 yılında bulduğu PID parametrelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. ZN metodunda açık çevrim ZN metodu ve kapalı çevrim ZN metodu olmak üzere iki ayrı şekilde PID parametreleri bulunabilir. Bu çalışmada kapalı çevrim ZN metodu kullanılmıştır.

Kapalı çevrim ZN metodu parametreler şu şekilde bulunur,

- 1) Denetleyici integral ve türev bileşenleri etkisiz kılınarak otomatik kontrol çevrime bağlanır.
- 2) Denetleyicinin Kc kazancı kararlılık limiti aşıncaya kadar artırılır (sistem öz salınım girer). Salınım periyodu Tc ölçülür.
- 3) Salınım periyodu Tc ve sistemin salınımına başladığı andaki P denetleyicinin kazancı Kc kullanılarak Tablo1'de görüldüğü gibi denetleyici parametreleri elde edilir. Tc : Kritik periyod, Kc : Kritik kazanç olarak anılır (Berber, Ö , Ateş, M , 2016).

Tablo 1. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metodunda Kullanılan PID Parametreleri

Denetleyici	k_p	k_i	k_d
P	$0.5K_c$	-	-
PI	$0.45K_c$	$0.85T_c$	-
PID	$0.5K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması

PSO 1995'te Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir (Kennedy, J. and Eberhart,1995).

Parçacık Sürü Optimizasyonunda öncelikle rastgele belirlenmiş olası bir çözüm kümesi oluşturulur. Burada oluşturulan çözüm kümesinin her satırı bir parçacığı her sütunu ise sürüyü oluşturmaktadır. Burada oluşturulan k matrisi aslında rastgele belirlenmiş k_p , k_i ve k_d değerleridir.

$$k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu kümenin her bir elemanı optimize edilecek sisteme uygulanır ve parçacıkların en iyisi olan "*pbest*" ve sürünün en iyisi olan "*gbest*" hesaplanır. Üç adet parametreden oluşan n adet parçacık için popülasyon matrisi yukarıdaki gibi ifade edilir. Matrise göre, i. parçacık aşağıdaki şekilde gösterilir (URL2).

$$k_i = |k_{i1} \quad k_{i2} \quad k_{i3}| \quad (4)$$

$$P_{best_i} = |P_{i1} \quad P_{i2} \quad P_{i3}| \quad (5)$$

$$g_{best_i} = |P_1 \quad P_2 \quad P_3| \quad (6)$$

i'ninci parçacığın her konumdaki değişim miktarını gösteren hız vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir (URL2).

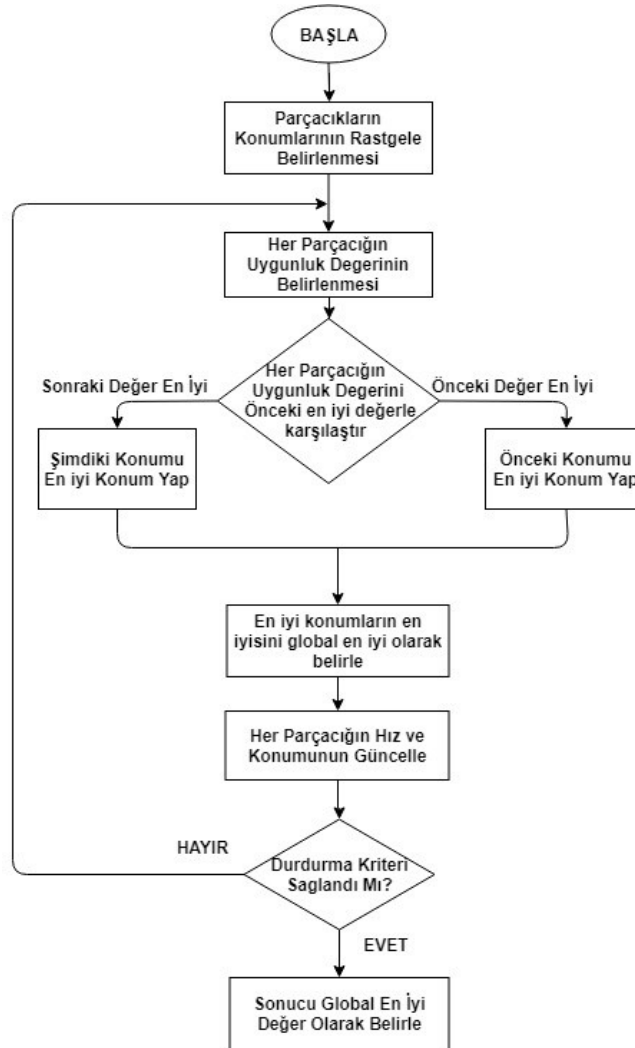
$$V_i = |V_{i1} \quad V_{i2} \quad V_{i3}| \quad (7)$$

İlk iterasyonda her bir parçacığın en iyisi olan "*pbest*" kendisine eşit olmaktadır. Buradan elde edilen en iyi değere karşılık gelen parçacık (sürünün en iyisi) "*gbest*" olarak seçilir. Bu iki en iyi değer bulunduktan sonra; parçacık, hızını ve konumu sırasıyla aşağıdaki (8) ve (9) denklemlerine göre güncellenir. Yeni konum değerleri elde edildikten sonra bu değerler kullanılarak tekrar başa dönülür ve uygunluk değerleri hesaplanıp, "*pbest*" ve "*gbest*" değerleri güncellenir. Sonlanma kriteri sağlanıncaya kadar işlemlere devam edilir ((Doğmuş ve vd.,2017; URL2).

$$V_i^{k+1} = V_i^k + C_1 * r_1^k * (p_{best_i}^k - X_i^k) + C_2 * r_2^k * (g_{best_i}^k - X_i^k) \quad (8)$$

$$\mathbf{X}_i^{k+1} = \mathbf{X}_i^k + \mathbf{V}_i^{k+1} \quad (9)$$

Burada $r(0-1)$ arasında üretilen rastgele bir değeri, i parçacık numarasını, k ise iterasyon sayısını gösterir. C_1 ve C_2 öğrenme faktörleridir. Bunlar parçacıkları $pbest$ ve $gbest$ konumlarına doğru yönlendiren sabitlerdir. C_1 parçacığın kendi tecrübelerine göre, C_2 ise sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareketi yönlendirir. Düşük değerler seçilmesi parçacıkların hedef bölgeye doğru çekilmeden önce, bu bölgeden uzak yerlerde dolaşmalarına imkân verir. Ancak hedefe ulaşma süresi uzayabilir. Diğer yandan, yüksek değerler seçilmesi, hedefe ulaşmayı hızlandırırken, beklenmedik hareketlerin oluşmasına ve hedef bölgenin es geçilmesine sebep olabilmektedir (URL2). Bu çalışmada $rand$ değerini 1, öğrenme faktörlerini $C_1=C_2=2$ belirlenmiştir.



Şekil 5.PSO Akış Diyagramı

PSO Uygunluk Kriterleri

PID denetleyiciler için yapılan çalışmalar arasında sıklıkla kullanılan uygunluk fonksiyonları 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)'dir.

Bu uygunluk fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (10)$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt \quad (11)$$

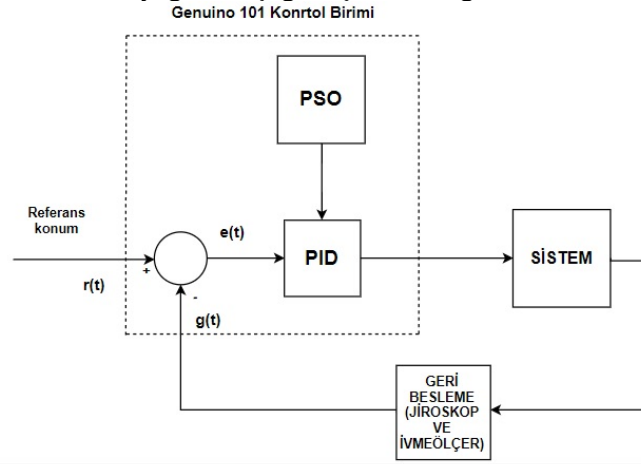
$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (12)$$

$$IAE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt \quad (13)$$

Uygunluk fonksiyonu parçacıkların ne kadar iyi olduğunu değerlendirir. PSO+PID denetleyici yönteminde aşımı, yerleşme zamanını ve kararlı durum hatasını en az seviyeye tutmak için kullanılır. Bu çalışmada IAE uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır.

PSO+PID Denetleyici Yapısı

Tasarlanan sistem kapalı döngülü kontrol sistemidir. Sistem öncelikle PSO algoritmasının çalıştırılmasıyla başlatılmaktadır. PSO algoritması sayesinde sisteme en uygun PID parametreler elde edilmektedir. Elde edilen PID parametreleri Genuino 101 kontrol birimi tarafından sisteme aktarılmaktadır. Mobil robot harekete başladığında robotun tümsek gibi bozuk yol şartlarında gitmesi durumunda robot kolun koordinatlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklik çeşitli sensörler (ivmeölçer, jiroskop gibi) vasıtasıyla algılanıp Genuino 101 kontrol kartı tarafından koordinatlardaki değişiklikler hesaplanıyor. Robot kolun bilek ve bilek dönüş ekseninde bulunan M4 ve M5 motorlarına kontrol birimi tarafından gelen uygun sinyaller sonucu robot kolun yatayda ve dikeyde stabilizasyonu sağlanmıştır. Tasarlanan sistemin blok diyagramı aşağıda Şekil 6’te görülmektedir.

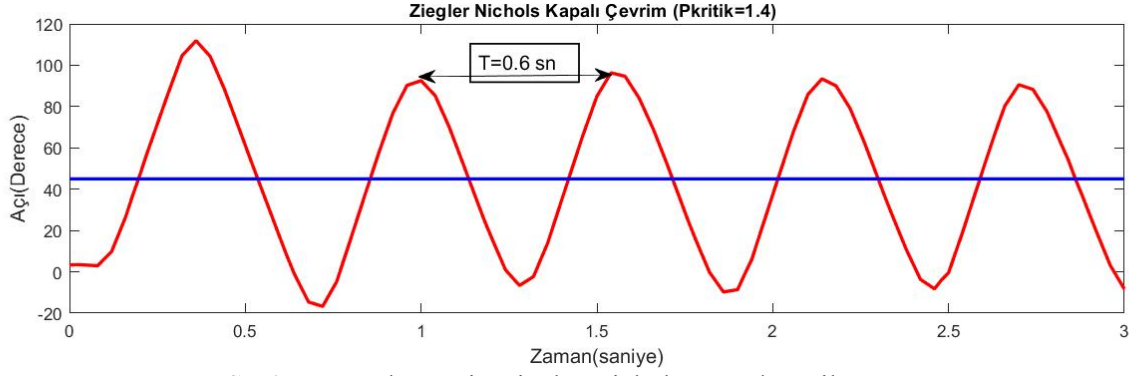


Şekil 6. Robot Kolu PSO+PID Kontrol Sisteminin Blok Diyagramı

BENZETİM ÇALIŞMASI

Arduino firmasının sitesinden (www.arduino.cc) tedarik edilebilen ücretsiz Arduino IDE editöründe programı yazılmaktadır. Arduino IDE’de yazılan programlar USB portu üzerinden Genuino 101 kontrol kartına aktarılmaktadır. Klasik PID ile yapılan çalışmada Ziegler Nichols metodu ile elde edilen K_p , K_i ve K_d değerleri sistemimize uygulanmış USB port üzerinden gerçek zamanlı olarak sonuçlar alınmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Matlab ’ta grafiğe aktarılmaktadır. Bu grafikler aşağıda şekil.7, şekil.8, şekil.9, şekil.10, şekil.11’de gösterilmektedir.

Gerçek zamanlı olarak sistemde osilasyon yakalanmaya çalışılmıştır. P kritik değere 0.1 verilerek başlanmakta ve osilasyon P kritik=1.4 ‘te elde edilmektedir. Bu uygulama sonucunda aşağıdaki osilasyon elde edilmiş buradan sistem için PID parametreleri hesaplanmaktadır.



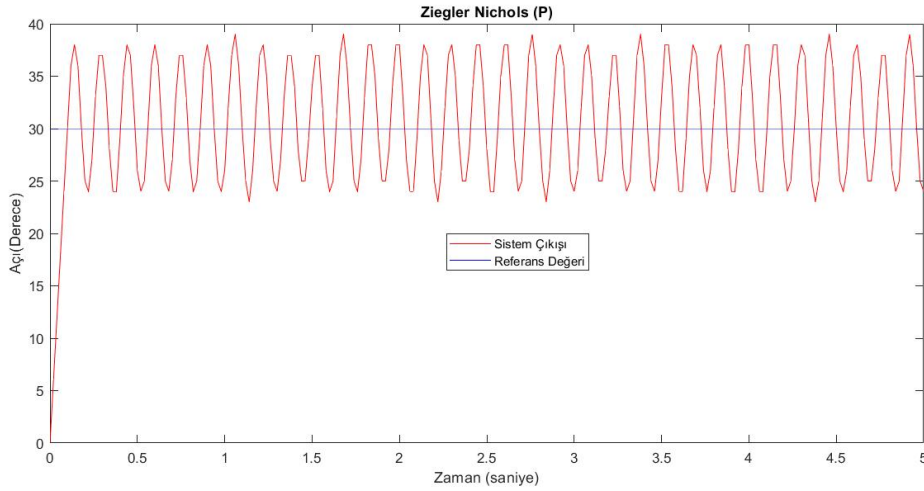
Şekil 7. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metodu Osilasyonu

Buradan elde edilen PID parametreleri Tablo 1 'e göre hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda Tablo 2 'de verilmiştir. Pkritik= 1.40 için Tc=0.6 olarak belirlenmektedir.

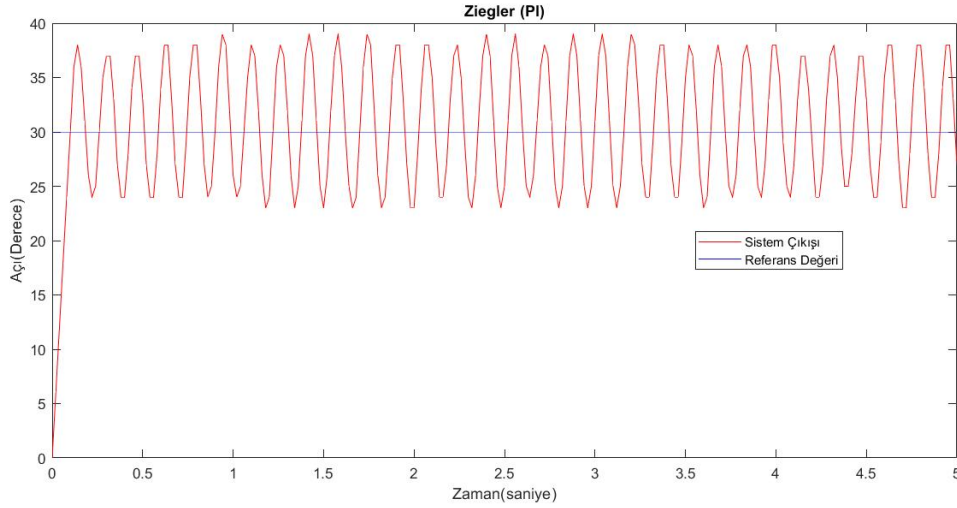
Tablo 2. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metoduna Göre Hesaplanan PID Parametreleri

	k_p	k_i	k_d
PID	0.36	0.3	0.075
PI	0.63	0.5	-
P	0.7	-	-

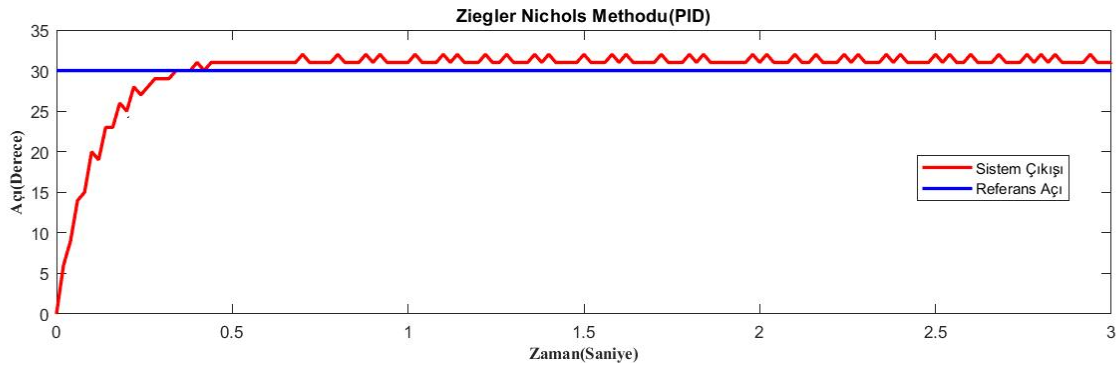
Hesaplanan bu sonuçlar sisteme yüklenmiş ve robot kolun hareketi başlatılmıştır. Genuino 101 kontrol kartı USB portu üzerinden Robot kolun konumları Matlab ortamına aktarılmış, 30°'lik referans konum verili p konum değişimleri P oransal, PI oransal ve integral, PID oransal integral ve türev denetleyicilerde aşağıdaki şekil 8, şekil 9 ve şekil 10 elde edilmiştir.



Şekil 8. Klasik PID Ziegler Nichols (P) Sonuçları



Şekil 9. Klasik PID Ziegler Nichols (PI) Sonuçları



Şekil 10. Klasik PID Ziegler Nichols (PID) Sonuçları

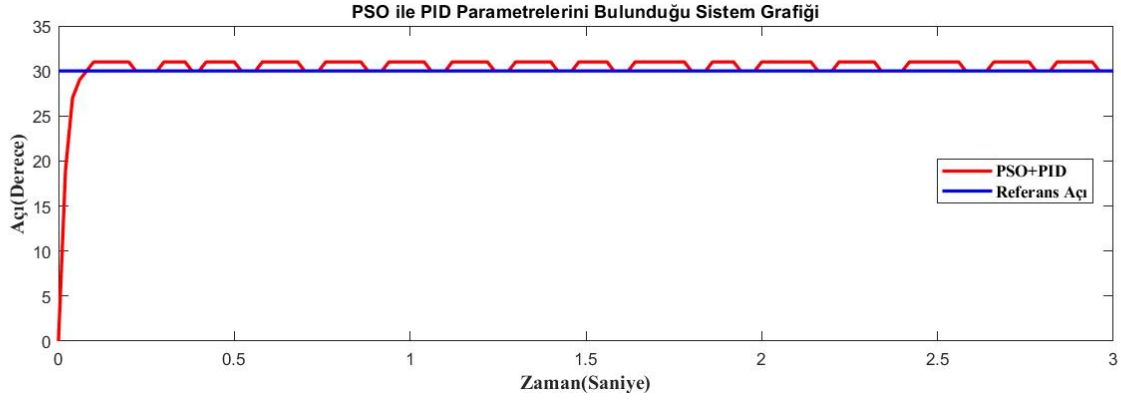
Sonuçlar incelendiğinde yükselme zamanı bakımından P ve PI 'ın daha iyi sonuç verdiğini, aşma bakımından PID 'nin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

PSO algoritması çalıştırılmış ve her iterasyon sonucunda elde edilen parçacıkların konumları ve uygunluk değerleri Guenino 101 kontrol kartının USB port üzerinden gerçek zamanlı olarak serial monitöre alınmış ve 10 iterasyon sonucunda global en iyi değer elde edilmiştir. PSO algoritmasının çalışması sonucunda belirlenen global en iyi değer olan gbest PID parametreleri olarak alınmıştır. PSO algoritmasının çalışması sonucunda elde edilen PID parametreleri aşağıda Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. PSO algoritması ile elde edilen PID Parametreleri

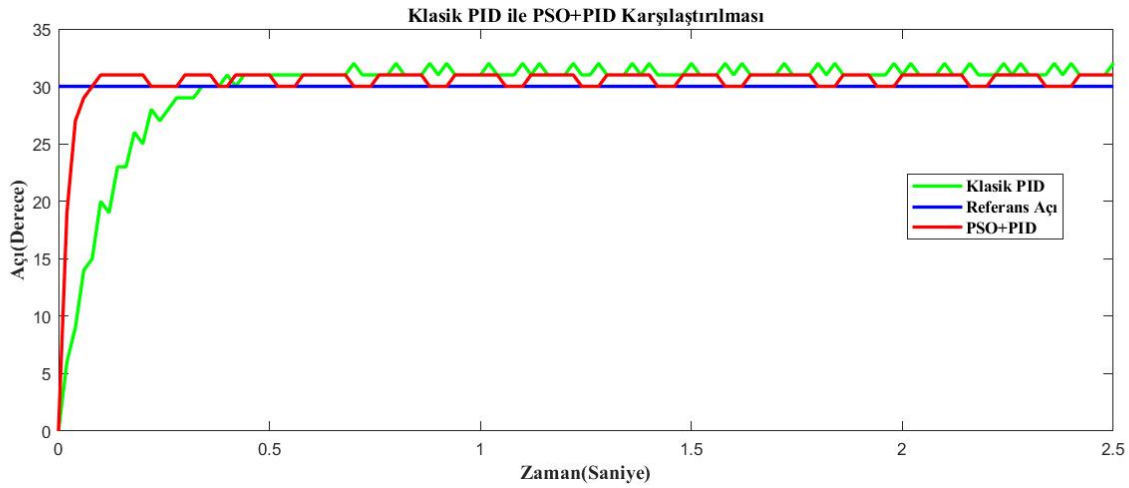
	k_p	k_i	k_d
PID	0.63	0.50	0.023

PSO+PID kontrol sisteminde PSO algoritması çalıştırılıp bu algoritma sonucu elde edilen PID parametreleri sisteme uyarlandığında elde edilen sonuç aşağıda Şekil 11 'de gösterilmektedir.



Şekil 11.PSO ile PID Parametreleri Bulunan Sistem Çıkışı

Klasik PID denetleyici ile PSO+PID denetleyicinin karşılaştırılması aşağıda şekil 12 'de gösterilmektedir.



Şekil 12.Klasik PID Kontrol ile PSO+ PID Kontrol Karşılaştırılması

Tablo 4. Elde Edilen Sonuçlar

	Yükselme Zamanı(sn)	Yerleşme Zamanı(sn)	Aşım(derece)
Klasik PID Kontrol Sistemi	0.037	0.34	2
PSO+PID Kontrol Sistemi	0.018	0.092	0.8

SONUÇLAR

Bu çalışmada tasarlanan robot kolu Klasik PID denetleyici ve PSO+PID denetleyici ile kontrol edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre PSO+PID denetleyicinin Klasik PID denetleyiciye göre daha iyi performans sergilediği sonucu elde edilmiş ve robot kolun istenen konuma daha kısa zamanda daha az hata ile ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca matematiksel modelin çıkarılması zor ve karmaşık olduğu problemlerin çözümünde PSO algoritmasının işlevselliğinin yüksek olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Bayrak, A. (2007). Beş Eksenli Bir Robot Kolunun Simülasyonu ve Kontrolü, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.

Berber, Ö , Ateş, M , Alhassan, H , Güneş, (2016).M . Parçacık Sürü Optimizasyonu ve PID ile Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (3), 165-169.

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.

Doğmuş, O, Kılıç, E, Şit, S, Güneş, M. (2017), PSO Algoritması ile Optimize Edilmiş PID Denetleyicinin Fotovoltaik MPPT Sistemine Uyarlanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (4), 1-8.

Gani, A., Açıkgoz, H., Keçecioglu, Ö.F., Kılıç, E., & Şekkelı, M., (2018). PSO Tabanlı PID ve PID Denetleyiciler ile Senkron Motorun Uyarım Akım Denetimi ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetim Çalışması, Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1, Sayfa 103-110.

Gokhan Tasci, Gurkan Kucukyildiz, H. Metin Ertunc, Hasan Ocak,(*TOK2012*). PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda DSPIC Tabanlı Konum Kontrolü.

Kayışlı K., Uğur, M. (2017). 3 Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun Bulanık Mantık ve PID ile Kontrolü, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasar. ve Teknol.*, Cilt:5, No:4, s:223-234.

Keçecioglu, Ö.F., Gani, A., & Açıkgoz, H.,(2018). DA-DA Azaltan Dönüştürücünün Optimal Denetimi için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı LQR Denetleyici Tasarımı. *Journal of Scientific Communications, 3rd International Mediterranean Science And Engineering Congress October 24-26, Çukurova University, Congress Center, Adana / Turkey.* 873–877.

Kennedy, J. and Eberhart, R. C.(1995). “Particle Swarm Optimization” Proc. IEEE int'l conf. on Neural Networks Vol. IV, pp. 1942-1948. *IEEE Service Center, Piscataway, NJ.*

Kılıç, E, Özçalık, H.R, Şit, S. (2016), Üç Fazlı Asenkron Motor İçin Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu Kullanan Yapay Sinir Ağı Temelli Adaptif Hız Kontrol Sistemi Tasarımı, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 24-32.

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

Lieslehto, J., (2001). PID Controller Tuning Using Evolutionary Programming. American Control Conference, 25-27 Haziran, ABD, 2828-2833.

Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M.,(1999). A Design Of Self-Tuning PIDControllers Using A Genetic Algorithm. American Control Conference, 2-4 Haziran, San Diego, 1361 – 1365.

Pehlivan F., Ankaralı, A, (2015) 5 Serbestlik Dereceli RobotKolunun Kinematik Hesaplamaları Ve Pıd İle Yörünge Kontrolü, *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, s. 7, İzmir.

Shi, Y. and Eberhart, R., May. A, (1998). Modified Particle Swarm Optimizer. In Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., *The 1998 IEEE International Conference on (pp. 69-73)*. IEEE.

Songül S.,(2014). Tank Namlusu Stabilizasyon Sisteminin Arduino ile Uygulanması ve Deneysel Düzeninin Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi / Edirne.

URL 1: Tinkerkit Braccio Robot, Teknik Özellikler (2015). <https://store.arduino.cc/usa/tinkerkit-braccio> Erişim Tarihi 19.07.15

URL 2: İleri Algoritma Analizi. Parçacık Sürü Algoritması (2015). <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-10.Hafta-ParcacikSuruAlgoritmasi.pdf> / Erişim Tarihi 19.07.15