PLC TABANLI SIVI SEVİYE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PLC-BASED LIQUID LEVEL CONTROL SYSTEM

Prof. Saadettin AKSOY [1], Research Assist. Şamilislam Özata [2], Research Assist. Alara Betül Ayhan [3]

[1] İstanbul Ticaret Üniv., Faculty of Engineering, Department of Computer Eng., İstanbul, Turkey

ORCİD: ID/0009-0007-9312-6866

[2] İstanbul Ticaret Üniv., Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Eng., İstanbul, Turkey
ORCİD: ID/0009-0003-9128-0115

[3] İstanbul Ticaret Üniv., Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Eng., İstanbul, Turkey

ORCİD: ID/0000-0002-5471-4514

ÖZET

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde sıvı seviye kontrolü, proses güvenliği, enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, öncelikle uygun yükseklikte tek tanklı bir sıvı seviye kontrol sistemi prototip olarak hazırlanmıştır. Seviye ölçümü için uygun ölçüm aralığına sahip olan basınç sensörü kullanılmıştır. Sıvı pompalamak için ise DC beslemeli uygun güçte bir sıvı pompası kullanılmıştır. Prototip olarak hazırlanmış olan sıvı seviye prosesinin deneysel yolla statik (Giriş/Çıkış) ve dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen model için PLC tabanlı PID kontrol sistemi tasarlanmış ve benzetim ortamında test edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, PID algoritmasının programlanabilir lojik kontrolör (PLC) üzerinde uygulanabilirliğini göstermek, kontrol parametrelerinin optimize edilmesiyle sistemin dinamik performansını iyileştirmek ve endüstriyel uygulamalara yönelik pratik bir çözüm sunmaktır.Deneysel düzenek, tek tanklı sıvı seviye sistemi üzerine kurulmuş olup; basınç sensörü aracılığıyla elde edilen geri besleme sinyali PLC'ye uygulanmıştır. PLC üzerinde geliştirilen PID algoritması, referans değer ile ölçülen değer arasındaki hata sinyalini işleyerek elde edilen PWM kontrol sinyali ile pompa ve vana kontrolünü sağlamaktadır. PID parametreleri (K_p, K_i, K_d) farklı yöntemlerle ayarlanmış ve sistemin kararlılık, aşım, yükselme süresi ve oturma süresi gibi performans kriterleri incelenmiştir. Çalışmada, manuel kontrol**,** klasik PID ve farklı hata kriterlerine göre optimize edilmiş PID parametre ayarlama yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, optimize edilmiş PID parametreleri ile sistemin daha düşük aşım, daha kısa oturma süresi ve daha yüksek izleme doğruluğu sağladığını göstermektedir. Ayrıca PLC tabanlı kontrolün, endüstriyel ortamlarda güvenilirlik, esneklik ve kolay entegrasyon açısından avantaj sunduğu ortaya konmuştur. Benzetim ortamında gerçekleştirilen bu çalışma, PLC tabanlı PID kontrol sistemlerinin sıvı seviye proseslerinde etkinliğini kanıtlamakta ve gelecekte adaptif kontrol**,** bulanık mantık veya yapay zekâ destekli kontrol algoritmaları için altyapı oluşturmaktadır. Böylece endüstriyel otomasyon alanında daha gelişmiş ve akıllı kontrol sistemlerinin tasarımına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: PLC, PID kontrol, Basınç sensörü, Endüstriyel otomasyon, Proses control

ABSTRACT

In industrial automation systems, liquid level control plays a critical role in process safety, energy efficiency, and product quality. In this study, a single-tank liquid level control system was prepared as a prototype at an appropriate height. A pressure sensor with a suitable measurement range was used for level measurement. The experimental setup of the liquid level process was used to obtain its static (input/output) and dynamic characteristics. For the set up model, a PLC-based PID control system was designed and tested in a simulation environment. The primary aim of this study is to demonstrate the applicability of the PID algorithm on a programmable logic controller (PLC), improve the dynamic

performance of the system through optimized control parameters, and provide a practical solution for industrial applications. The experimental setup was built on a single-tank liquid level system, where the feedback signal obtained via the pressure sensor was applied to the PLC. The PID algorithm developed on the PLC processed the error signal between the reference value and the measured value, obtained a PWM control signal to operate the pump and valve. PID parameters (K_p, K_i, K_d) were tuned using different methods, and performance criteria such as stability, overshoot, rise time, and settling time were analyzed. The study compared manual control, classical PID, and PID parameter tuning methods optimized according to different error criteria. Results showed that optimized PID parameters provided lower overshoot, shorter settling time, and higher tracking accuracy. Furthermore, PLC-based control was demonstrated to offer advantages in terms of reliability, flexibility, and ease of integration in industrial environments. This simulation-based study confirms the effectiveness of PLC-based PID control systems in liquid level processes and establishes a foundation for future applications of adaptive control, fuzzy logic, or artificial intelligence-supported control algorithms.

Keywords: PLC, PID control, Pressure sensor, Industrial automation, Process control

GİRİŞ

Endüstriyel otomasyon sistemlerinde sıvı seviye kontrolü, üretim süreçlerinin güvenliği, enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Kimya, gıda, ilaç ve enerji sektörlerinde sıvı seviyesinin hassas biçimde izlenmesi ve kontrol edilmesi, prosesin kararlılığını ve ürün standardını doğrudan etkilemektedir (Rahmat ve Rozali, 2008; Nursoy ve Başçı, 2024; Pan ve ark., 2005; Sen, 1996 ; Zhou, 2022).

Klasik kontrol yöntemleri belirli koşullarda yeterli performans sağlasa da endüstriyel ortamlarda karşılaşılan doğrusal olmayan dinamikler, gürültü ve dış bozucu etkiler nedeniyle daha gelişmiş kontrol stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada PID kontrolörler, basit yapıları ve geniş uygulama alanları sayesinde endüstride en yaygın kullanılan kontrol algoritmalarıdır (Bennett, 1993; Khan ve ark., 2015; Knospe, 2006). Ancak PID algoritmasının kullanımı, kontrolör parametreleri yeterince ayarlanmadığı takdirde sistemin en iyi kontrolünü ve hatta kararlılığını garanti etmez. Doğru çalışması garanti edilmez; ölü zamanlardan (ölçülen hatanın anında ulaşmaması veya kontrol eyleminin hemen uygulanamaması) önemli ölçüde etkilenebilir. Bir kontrol sisteminin cevabı; sürekli hal hatası, maksimum aşım ve yerleşme süresi ile tanımlanabilir. Bununla birlikte, PID denetleyiciler geniş bir uygulama alanına sahiptir ve birçok uygulamada uzun bir başarı geçmişine sahiptir (Ang, Chong ve Li, 2005; Åström ve Hägglund, 1995). PID denetleyici, bazı sistem performans kriterlerini karşılamak üzere üç kazanç katsayısına sahiptir. Bunlar; oransal kazanç katsayısı K_p, integral kazanç katsayısı K_i ve türevsel kazanç katsayısı K_d'dir. Bazı uygulamalarda, uygun sistem kontrolünü sağlamak için bu parametrelerden yalnızca biri veya ikisi kullanılır (PI, P veya PD). Ancak kontrol etkilerinden birinin yokluğu, sistemin amacına ulaşmasında hatalara yol açar. Özellikle doğrusal olmayan kontrol sistemlerinde PID denetleyici için optimal parametre değerlerini bulmak zorlu bir görevdir (Åström ve Hägglund, 1995; Nise, 2019 ; Seborg ve ark., 2010; Wang, Zhang ve Chai, 2000). Yaygın olarak kullanılan ayarlama yöntemlerinden biri Ziegler–Nichols (Z-N) yöntemidir (Dorf ve Bishop, 2017; Ogata, 2010). Ancak birçok endüstriyel sistemde Z-N yöntemi kabul edilebilir değildir; çünkü aşım, yerleşme süresi ve yükselme zamanı gibi performans kriterlerini yeterince iyileştiremez. Çözüm, kapalı çevrim kontrol sistemlerinin basamak cevabını optimize etmek için meta-sezgisel algoritmaların kullanılmasıdır.

Kontrol sistemlerinin basamak cevabını optimize etmenin amacı, aşımı en aza indirmek veya yerleşme ve yükselme zamanını azaltmaktır. Meta-sezgisel algoritmalar, sosyal ve ekolojik sistemlerin davranışlarını taklit eden stokastik stratejilerdir ve uygulamalı bilimlerdeki problemlerin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılır (Hasim ve ark., 2012; Shen, Wu ve Deng, 2002; Wang, Ren ve Hu, 2011). Bu algoritmalar, PID denetleyici kazanç katsayılarının en uygun kombinasyonunu seçmek için kullanılabilir ve böylece en iyi geçici cevabı elde etmek mümkün olur.

Son yıllarda programlanabilir lojik kontrolörler (PLC) endüstriyel otomasyonun temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. PLC'ler, esnek yapıları, güvenilirlikleri ve kolay entegrasyon özellikleri sayesinde

proses kontrol uygulamalarında tercih edilmektedir (Bolton, 2015; Rashid ve ark., 2013). PLC tabanlı PID kontrol sistemleri hem laboratuvar ortamında hem de endüstriyel uygulamalarda yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamaktadır.

Bu çalışmada, tek tanklı bir sıvı seviye sistemi üzerinde PLC tabanlı PID kontrol algoritmasının uygulanabilirliği araştırılmış, klasik PID kontrol uygulamasının yanısıra sistem performansı Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması ve Genetik Algoritma (GA) tabanlı PID denetleyici parametre ayarlama yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Coello ve Reyes-Sierra, 2006; Marini ve Walczak, 2015; Tasan ve Tunali, 2008; Weile ve Michielssen, 1997). Çalışmanın amacı, PLC üzerinde geliştirilen PID algoritmasının kararlılık, aşım, yükselme süresi ve yerleşme süresi gibi performans kriterleri açısından değerlendirilmesi ve optimizasyon yöntemleriyle sistemin dinamik performansının iyileştirilmesidir. Böylece endüstriyel otomasyon uygulamalarında daha güvenilir ve esnek kontrol çözümleri geliştirilmesi hedeflenmektedir.

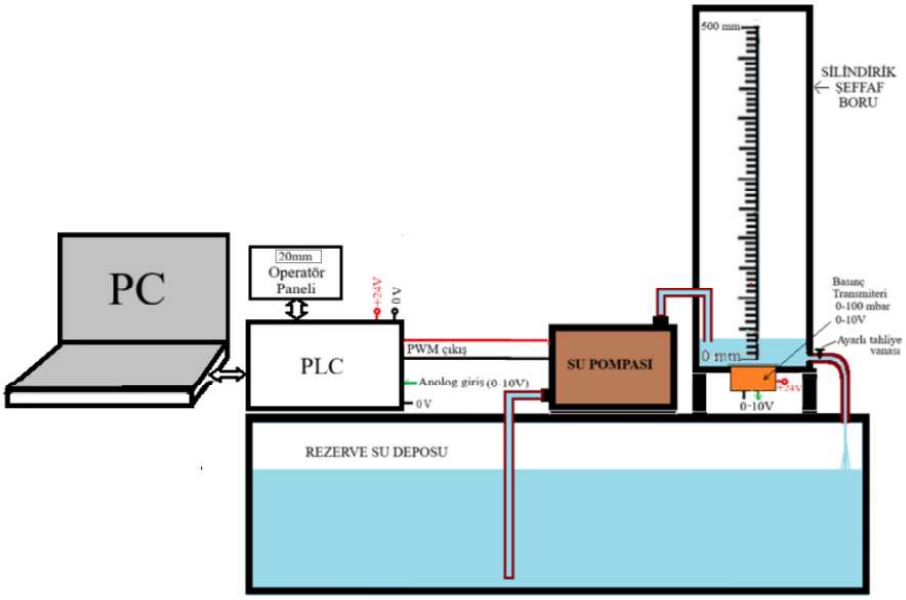
MATERYAL ve YÖNTEM

Sistem donanımı ve blok gösterimi:

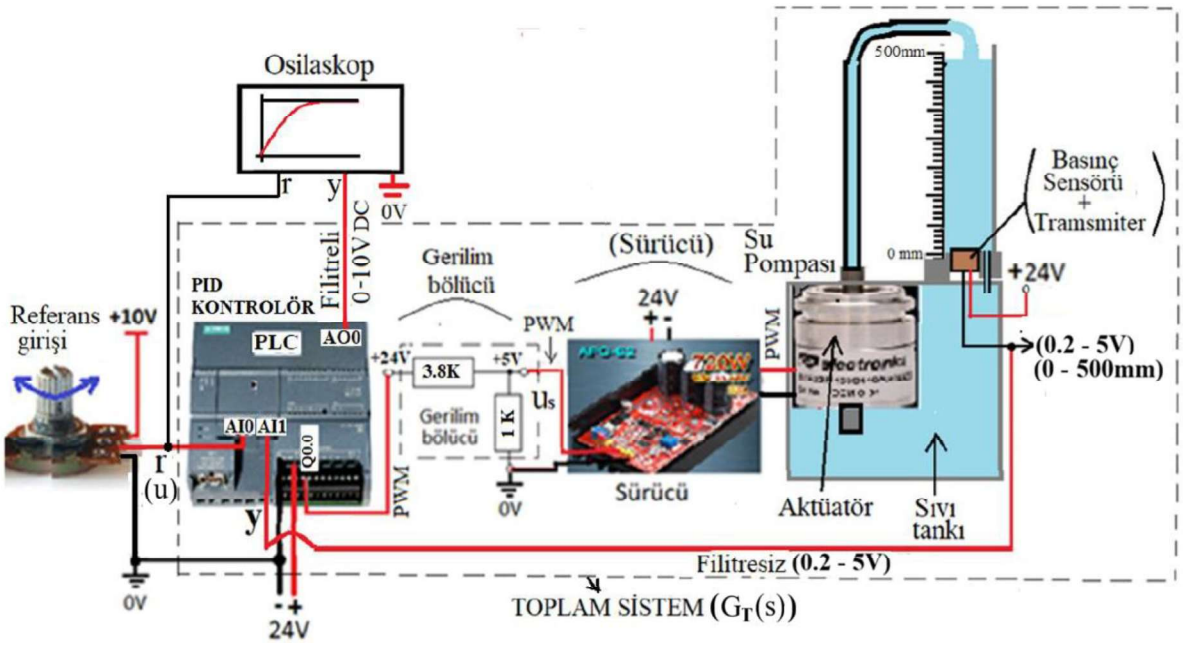
Bu çalışmada tek tanklı bir sıvı seviye kontrol sistemi prototipi hazırlanmıştır. Deneysel düzenek, PLC tabanlı PID kontrol algoritmasının uygulanabilirliğini göstermek amacıyla tasarlanmıştır.

Şekil 1'de sistematik gösterimi verilen deney düzeneği; Rezerve su deposu, Basınç sensörü ve transmiteri, Operatör paneli, PLC (analog giriş ve PWM çıkış), Su pompası , Ayarlı tahliye vanası ve PWM sürücüsü bileşenlerden oluşmaktadır

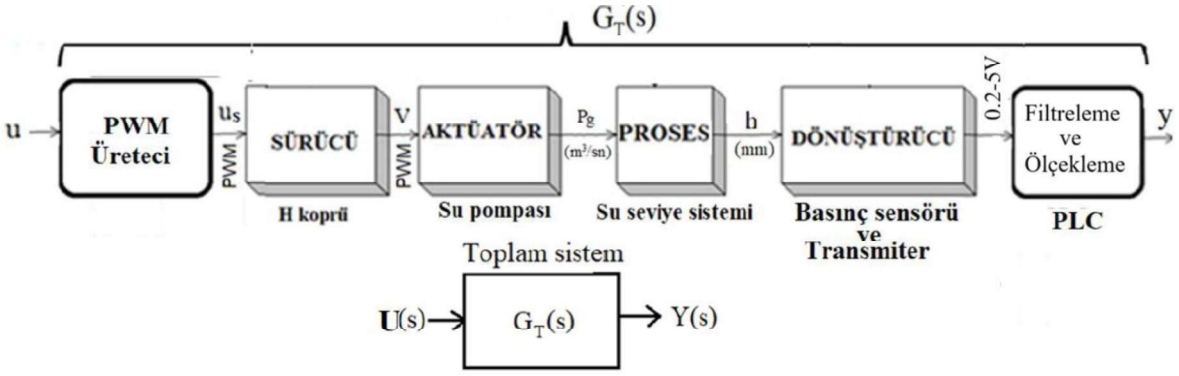
Şekil 2'de ise amaçlanan sıvı seviye kontrol sistemine ilişkin şematik gösterimi, Toplan sıvı seviye sisteminin ayrıntılı ve genel blok gösterimi ve sıvı seviye kontrol sisteminin genel blok gösterimi verilmiştir.



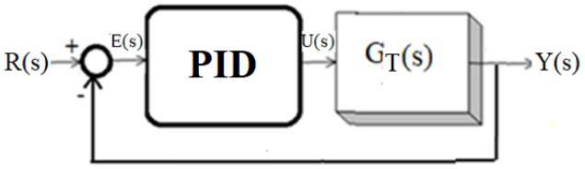
Şekil 1. Sıvı seviye kontrol sistematik şematik gösterimi



a. Şematik gösterim



b. Toplam sıvı seviye sisteminin ayrıntılı ve genel blok gösterimleri



c. Sıvı seviye kontrol sisteminin genel blok gösterimi

Şekil 2. PID'li sıvı seviye kontrol sistemi

Deney düzeneği; rezerve su deposu, şeffaf silindirik tank (500 mm), basınç sensörü ve transmiteri (0–100 mbar, 0–10 V çıkış), PLC, PWM çıkışı, su pompası, ayarlı tahliye vanası ve operatör panelinden oluşmaktadır. Ölçülen basınç sinyali PLC'ye aktarılmakta, PID algoritması hata sinyalini işleyerek PWM çıkışı üretmekte ve pompa/vanayı kontrol etmektedir.

Her bir örnekleme peryodu için referans giriş (0- + 10V) ve ve basınç transmiteri çıkışı (0.2-5V) sinyalleri PID kontrolör tarafından işlenmekte, PLC kesme altprogramında koşturulan PID algoritması tarafından PWM kontrol sinnyali üretilmektedir. PLC transistör çıkışından sürücü girişine uygulanan PWM sinyali sürücü tarafından güçlendirilir. Güçlendirilen PWM sinyali aktüatör olarak görev yapan sıvı pompasını kontrol etmektedir. Tanktaki sıvı seviyesi 0-10 V voltaj çıkışlı basınç sensörü ile ölçülmekte ve geri besleme sinyali PLC'nin 2. analog girişine uygulanmaktadır. Basınç sensörü ile 0-500 mm yükseklik aralığı doğrusal olarak 0,2-5V DC voltaj aralığına dönüştürülmektedir. Söz konusu bu voltaj aralığı PLC'de uygun komutlar ile filitrelenip ölçeklenerek PLC'nin analog çıkışından 0-10 V

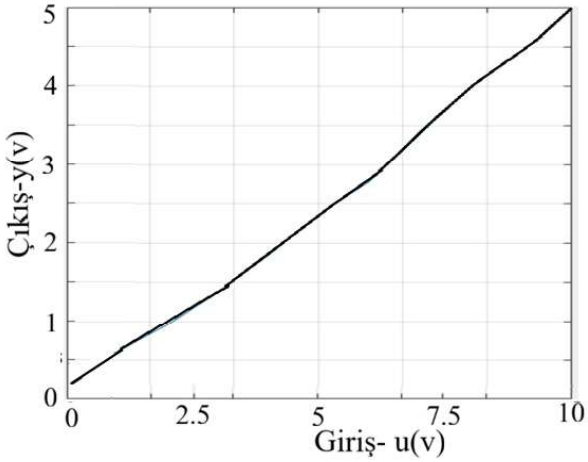
aralığına dönüştürülmektedir. Sonuç olaral 0-500mm yükseklik değişimi doğrusal olarak PLC'nin analog çıkışından proses çıkışı (y) olarak 0-10 V DC voltaj aralığına dönüştürülmektedir.

Bu düzenek sayesinde sıvı seviyesi sürekli olarak ölçülmekte, PLC tarafından işlenmekte ve pompa'ya gönderilen kontrol sinyali ile seviye istenen referans değer etrafında tutulmaktadır.

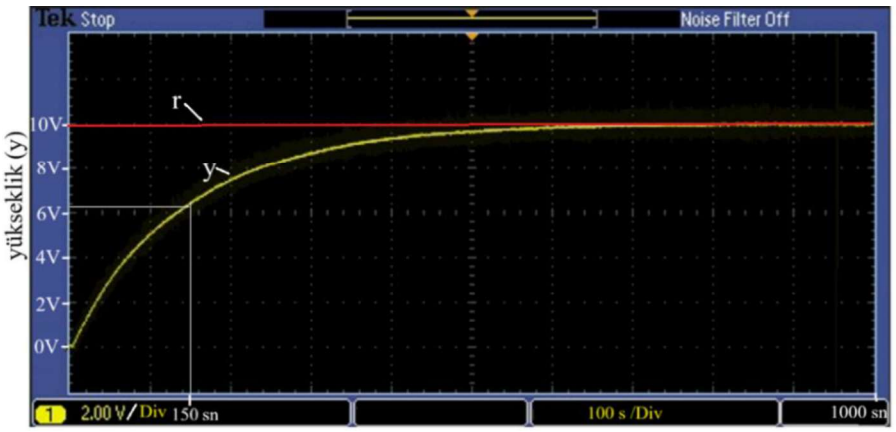
Modelleme:

Deneysel yöntemler ile statik karakteristik (giriş/çıkış ilişkisi) ve dinamik karakteristik elde edilmiştir. Deneysel yolla elde edilen Statik karakteristik eğrisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sistem doğrusal olarak kabul edilebilir. Toplam sıvı seviye sisteminin dinamik karakteristik eğrisine ilişkin osilaskop görseli ve Matlab/Simulink benzetimi Şekil 4'te verilmiştir. Dinamik karakteristik eğrisinden PLC tabanlı sıvı seviye sistemi için aşağıdaki 1. Dereceden gecikmesiz transfer fonksiyonu kolayca elde edilebilir.

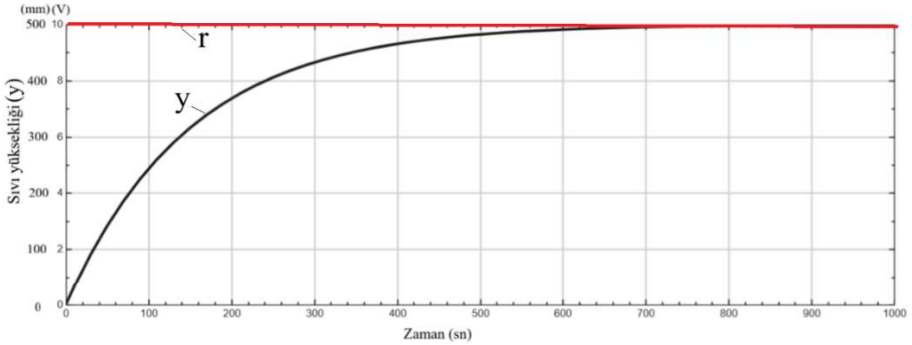
$$G_T(s) = \frac{1}{(150s+1)} \qquad (1)$$



Şekil 3. Toplam sıvı seviye sisteminim statik (Giriş/Çıkış) karekteristiği



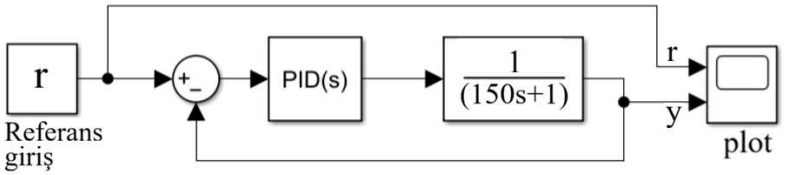
a. Deneysel (Osiloskop ekran görüntüsü)



b. Matlab/Simulink simulasyonu

Şekil 4. Toplam sıvı seviye sisteminin dinamik karakteristik eğrisi [$G_T(s)=1/(150s+1)$]

İstenen aşım, yerleşme süresi ve sürekli hal hatası için klasik tasarım metodları ile hesaplanan PID kontrolör parametrelerini Matlab/Simulink yazılımı ortamında test etmek için gerekli simulink benzetimi Şekil 5'te verilmiştir.

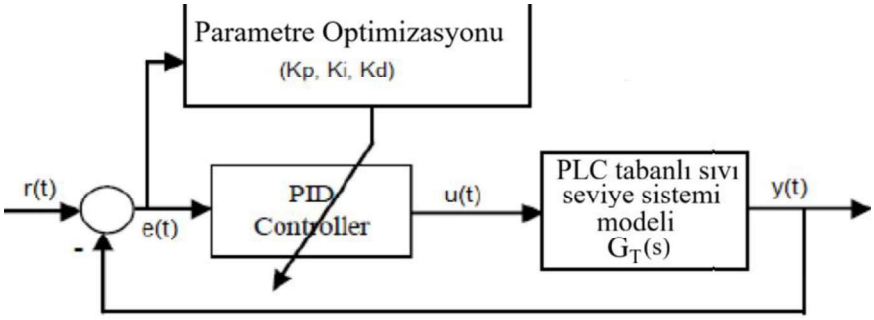


Şekil 5. PLC tabanlı Sıvı seviye kontrol Sistemi Matlab/Simulink benzetimi

Parametre optimizasyonu

Parametre optimizasyonu için kontrol problemi Şekil 6'da gösterildiği gibi tanımlanabilir. GA (Genetik Algoritma) ve PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) ile farklı PID kontrolör tipleri (P, PI, PD, PID) için kazanç katsayıları (K_p, K_i, K_d) iyi kontrol performansını elde etmek amacıyla optimize edilmek istenmektedir. PID denetleyicisinin çıkışı, zamana bağlı hata sinyaline göre, Denklem 2'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$



Şekil 6. PID denetleyici parametre optimizasyonunun yapısı

Performans indeksleri, bir PID kontrolörün sistem performansını değerlendirmek için nicel ölçütler olarak kullanılır. Bu teknik, genellikle bir "optimal sistem" tasarlamak ve gerekli şartları karşılamak üzere bir dizi PID parametresini ayarlamak için kullanılır. PID tarafından kontrol edilen bir sistem için, sistem performansını gösteren tipik olarak dört performans indeksi vardır: **ISE, IAE, ITAE ve ITSE**. Bunlar aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$ISE = \int_0^\infty e^2(t)dt \quad (3)$$

$$ITAE = \int_0^\infty t\,|e(t)|dt \quad (4)$$

$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|\,dt \quad (5)$$

$$ITSE = \int_0^\infty t\,e^2(t)dt \quad (6)$$

Bu yöntem sayesinde sıvı seviye sisteminin deneysel olarak elde edilmiş olan matematiksel modeli kullanılarak simulasyon ortamında sistemin performansı ve optimizasyon algoritmalarının kontrol başarısına etkisi incelenmiştir.

Optimizasyon algoritmaları

a) Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO, evrimsel hesaplama tekniklerine dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır. Temel PSO algoritması, balık sürüleri ve kuş sürüleri gibi sürü araştırmalarından geliştirilmiştir (Marini ve Walczak, 2015). İlk olarak 1995'te tanıtıldıktan sonra özgün PSO 1998'de performansını artırmak amacıyla değiştirilmiştir.

PSO algoritması rastgele parçacıklarla başlatılır ve ardından optimal çözümü aramak için nesiller boyunca yinelemeli olarak güncellenir. Her parçacık, PID denetleyicisinin oransal, integral ve türevsel kazançlarını temsil eder. Her yinelemede, her parçacık pbest **ve** gbest olmak üzere iki önemli değerle güncellenir. *pbest*, parçacığın bilinen en iyi konumunu temsil ederken, *gbest* sürünün bilinen en iyi konumunu temsil eder. Her parçacık, bu iki en iyi değere göre konumlarını (x) ve hızlarını (v) aşağıdaki Denklem 7 ve 8'e göre günceller:

$$v_{t+1}=wv_1+ c_1r_1(p_t-x_t)+c_2r_2(G_t-x_t) \quad (7)$$

$$x_{t+1}=x_t+v_{t+1} \quad (8)$$

b) Genetik algoritma (GA)

Genetik algoritma, doğal seçilim sürecinden esinlenen bir meta-sezgisel optimizasyon yaklaşımıdır ve evrimsel algoritmalar (EA) sınıfında yer almaktadır. GA, mutasyon, çaprazlama (crossover) ve seçim (selection) gibi biyolojik süreçlerden ilham alan genetik operatörleri kullanarak yüksek kaliteli çözümler üretebilmektedir. Bu nedenle, çok sayıda optimizasyon ve arama probleminde yaygın olarak tercih edilmektedir (Weile ve Michielssen, 1997).

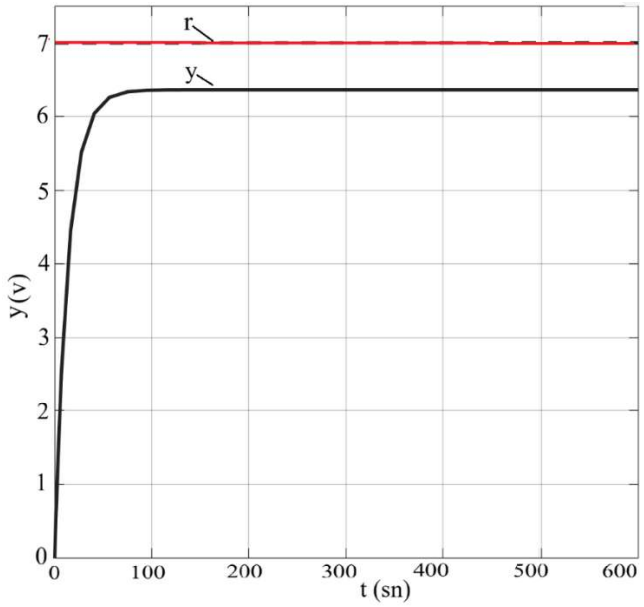
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada tek tanklı sıvı seviye kontrol sistemi üzerinde farklı kontrolör tipleri (P, PI, PD, PID) için klasik tasarım yöntemleri ile elde edilen parametreler ile Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

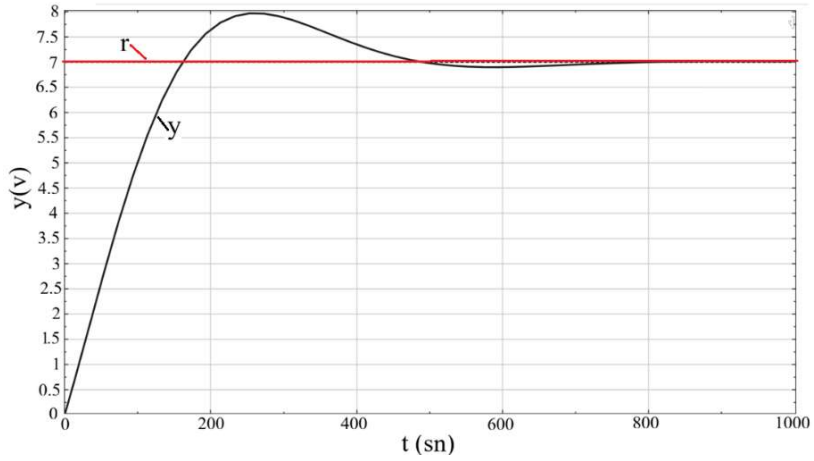
Klasik kontrolör sonuçları:

Şekil 5'teki Simulink benzetim kullanılarak elde edilen değişik türden klasik PID kontrolör tasarımlarına ilişkin çıkış eğrileri Şekil 7-10'de verilmiştir.

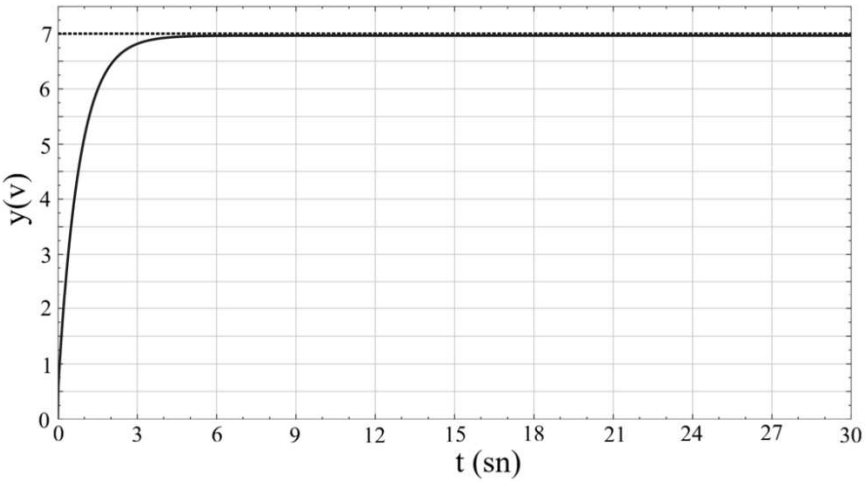
Şekil 7'den P kontrolör için çıkışın aşım yapmadan yaklaşık 80 saniyede referans girişi yaklaşık olarak 0,7 V hata ile izlediği görülmektedir. Şekil 8'den PI kontrolör için aşımın %13,8 seviyelerine çıktığı, yerleşme süresinin oldukça uzun olduğu, sürekli hal hatasının 0 olduğu görülmektedir. Şekil 9'dan PD kontrolör için çok hızlı (4 saniye) ve aşım yapmadan sürekli hale ulaştığı görülmektedir. Şekil 10'dan PID kontrolör için ise daha dengeli fakat yerleşme süresi uzun cevaplar elde edildiği görülmüştür.



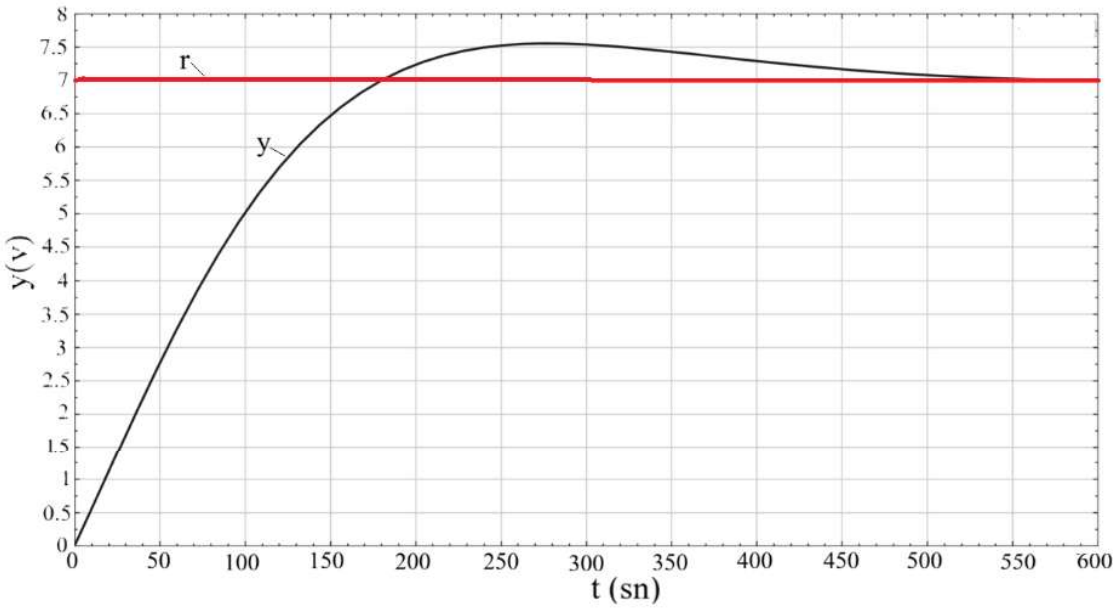
Şekil 7. P kontrolör için Matlab Simulasyonu (P=10, t_s=80 sn, Mp=%0)



Şekil 8. PI kontrolör için Matlab Simulasyonu (P=1.04, I=0,0208, ts=444 sn, Mp=%13,8)



Şekil 9. PD kontrolör için Matlab Simulasyonu (P=200, D=10, N=100 ts=4 sn, Mp=%0)



Şekil 10. PID kontrolör için Matlab Simulasyonu (P=1,33; I=0,017; D= -7,28; ts=500 sn ; Mp=%7,86)

Parametre optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar:

Şekil 6 kullanılarak elde edilen değişik türden PID kontrolörler için elde edilen parametre optimizasyonuna ilişkin çıkış eğrileri Şekil 11-14'te verilmiştir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarından; GA ve PSO ile optimize edilen kontrolörlerde hata kriterleri (ISE, IAE, ITAE, ITSE) açısından farklı performanslar elde edilmiştir.

- P kontrolör için GA ve PSO sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu, ancak her iki algoritma da sürekli hal hatasını sıfır yapamadığı görülmüştür.

- PI kontrolör için GA ve PSO sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu, özellikle ITSE kriterinde aşımın sıfır olduğu, yerleşme süresinin daha küçük olduğu, her iki algoritmada da sürekli hal değerinin sıfır olduğu görülmüştür.

- PD kontrolör için GA ve PSO sonuçları neredeyse aynı olup, her iki algoritma da sıfırdan farklı olan aynı sürekli durum hatası değerleri üretmiştir.

- PID kontrolör için ise GA ve PSO algoritmalarına ilişkin her bir performans kriteri için elde edilen sonuçların birbirne oldukça yakın oduğu görülmektedir. Her iki yöntemde de ITSE kriteri ile aşımsız ve daha küçük yerleşme süreli çıkış eğrisi elde edilmiştir.

Bılgular:

Klasik P kontrolörün kullanıldığı kontrol sistemine ilişkin çıkış eğrisinde sürekli hal hatası oluştuğu için bu tip kontrolörün kullanımı uygun değildir. Benzer şekilde GA ve PSO algoritmalarının kullanıldığı P ve PD tipi kontrol sistemlerine ilişkin çıkış eğrisinde de sürekli hal hatası oluşmaktadır. Dolayısıyla kullanımı uygun değildir.

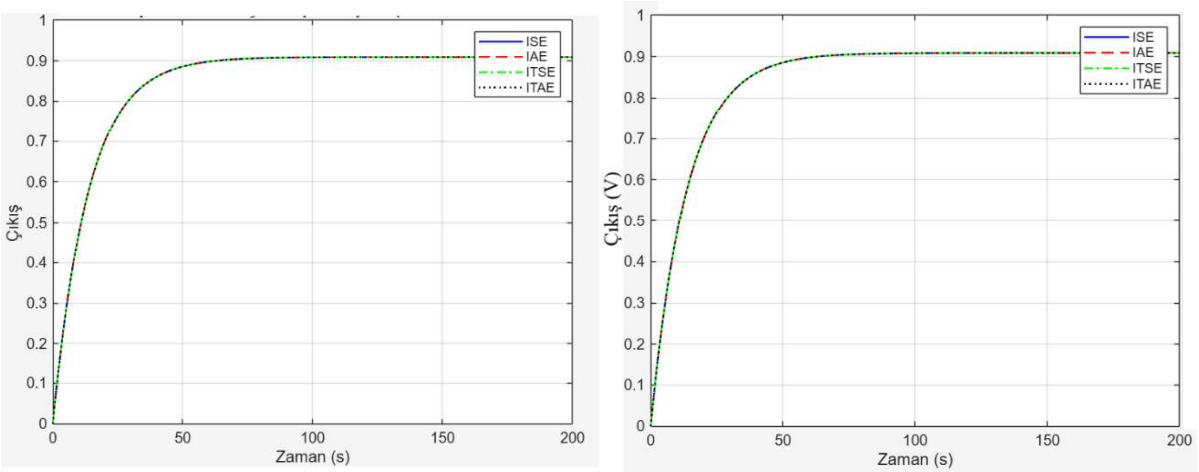
GA ve PSO algoritmalarının her ikisi de PI ve PID parametrelerinin tüm perfornam kriterleri için birbirine oldukça yakın başarılı sonuçlar üretmiştir. Ancak GA'nın özellikle PID kontrolör için düşük te olsa daha düşük hata değerleri ve daha iyi geçici cevap sağladığı gözlenmiştir.

PI ve PID kontrolör için Her iki yöntemde de ITSE kriteri ile aşımsız ve daha küçük yerleşme süreli çıkış eğrisi elde edilmiştir. Dolayısıyla yapay zekâ tabanlı algoritmalarda optimizasyon için ITSE kriterinin kullanımı uygun olacaktır.

Genel olarak, meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri klasik Ziegler–Nichols gibi ayarlama yöntemlerine kıyasla sistemin dinamik performansını belirgin şekilde iyileştirmiştir.

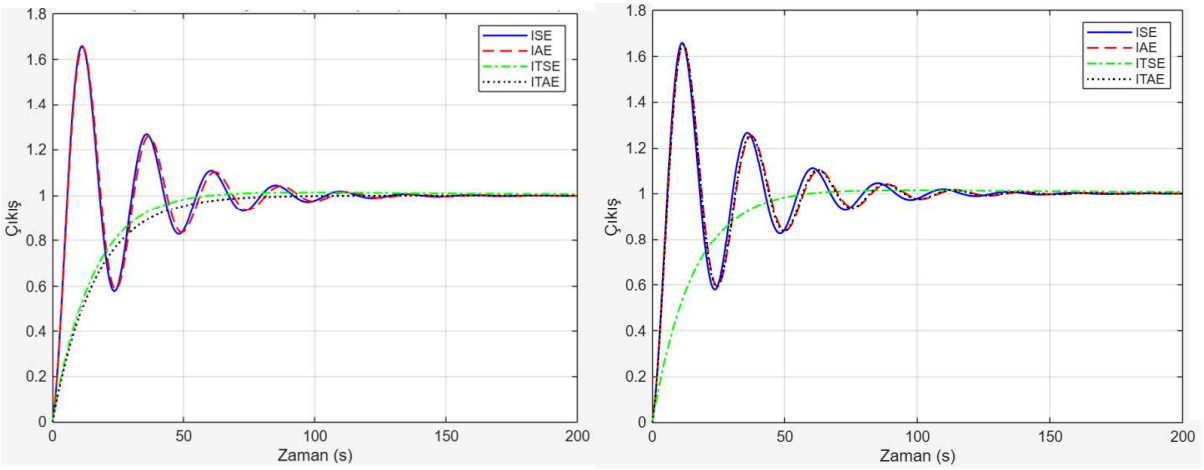
PLC tabanlı uygulama, endüstriyel ortamlarda güvenilirlik ve esneklik açısından avantaj sağlamış, optimizasyon algoritmalarıyla birlikte daha düşük aşım, daha kısa yerleşme süresi ve daha yüksek izleme doğruluğu elde edilmiştir.

Sonuç olarak; araştırma bulguları, PLC tabanlı PID kontrol sistemlerinde GA ve PSO gibi optimizasyon algoritmalarının klasik yöntemlere kıyasla daha üstün performans sağladığını ortaya koymaktadır. Parametre optimizasyonu için ITSE kriterinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



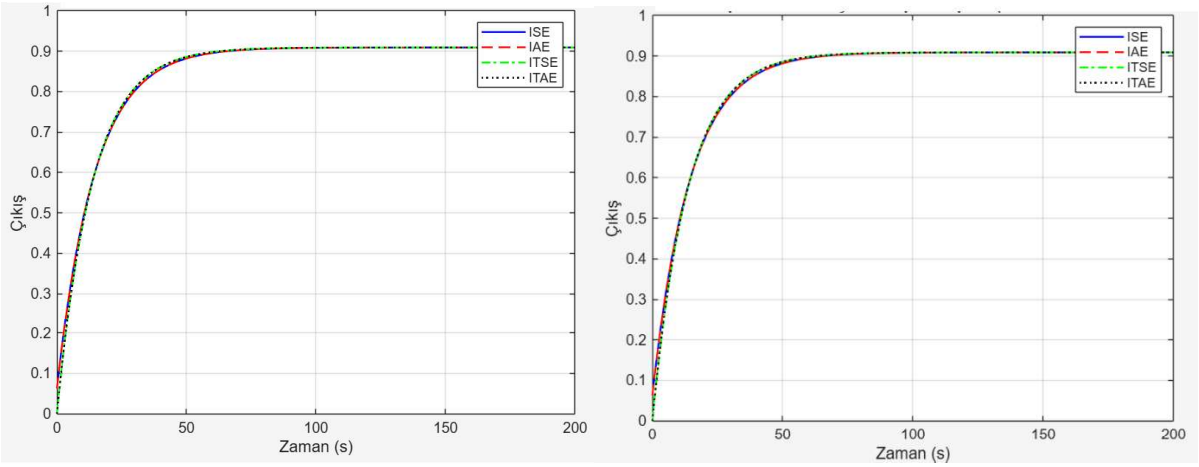
a. PSO metodu ile **b.** GA metodu ile

Şekil 11. Optimize edilmiş P kontrolöre ilişkin adım cevap eğrileri



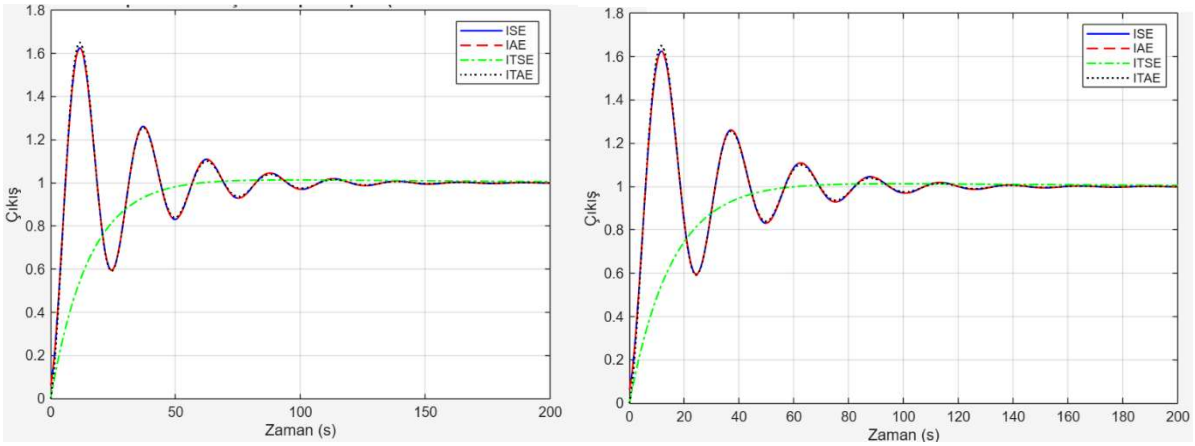
a. PSO metodu ile **b.** GA metodu ile

Şekil 12. Optimize edilmiş PI kontrolöre ilişkin adım cevap eğrileri



a. PSO metodu ile **b.** GA metodu ile

Şekil 13. Optimize edilmiş PD kontrolöre ilişkin adım cevap eğrileri



a. PSO metodu ile **b.** GA metodu ile

Şekil 14. Optimize edilmiş PID kontrolöre ilişkin adım cevap eğrileri

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek tanklı sıvı seviye kontrol sistemi üzerinde PLC tabanlı PID algoritmasının uygulanabilirliği incelenmiş ve farklı kontrolör tipleri (P, PI, PD, PID) için klasik yöntemlerle elde edilen parametreler Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı optimizasyon sonuçları için karşılaştırılmıştır.

Araştırma bulguları göstermiştir ki; Klasik yöntemler, sistem performans kriterlerini (aşım, yerleşme süresi, yükselme süresi) yeterince iyileştirememektedir. GA ve PSO algoritmaları, PID parametrelerinin optimizasyonunda daha üstün sonuçlar sağlamış, sistemin dinamik performansını belirgin şekilde iyileştirmiştir. ITSE kriterinin kullanıldığı GA ve PSO algoritmaları özellikle PI ve PID kontrolörler için aşımsız ve düşük yerleşme süreli çıkış sağlamıştır. PLC tabanlı uygulama, endüstriyel ortamlarda güvenilirlik, esneklik ve kolay entegrasyon açısından önemli avantajlar sağlamıştır. Parametre optimizasyonu için Yapay Sinir Sistemleri (ANN) ve Bulanık mantık uygulanarak sistemin performansı incelenebir.

KAYNAKLAR

Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE transactions on control systems technology, 13(4),* 559-576.

Aström, K. J., & Hägglund, T. (1995). PID controllers: theory, design, and tuning.

M. F. Rahmat and S.M. Rozali, "Modelling and Controller Design for a Coupled-Tank Liquid Level System: Analysis & Comparison", Journal of Technology, vol. 48 (D), June. 2008, pp. 113-141.

Bennett, S. (1993). Development of the PID controller. *IEEE Control Systems Magazine*, *13*(6), 58-62.

Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers* (6. baskı).

Reyes-Sierra, M., & Coello, C. C. (2006). Multi-objective particle swarm optimizers: A survey of the state-of-the-art. *International journal of computational intelligence research*, *2*(3), 287-308.

Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). Modern Control Systems, 13/E.

Getu, B. N. (2016). Water level controlling system using PID controller. *International Journal of Applied Engineering Research*, *11*(23), 11223-11227.

Hasim, N., Aras, M. S. M., Ab Rashid, M. Z., Kassim, A. M., & Abdullah, S. S. (2012, November). Development of fuzzy logic water bath temperature controller using MATLAB. In *2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering* (pp. 11-16). IEEE.

Khan, M. R., Khan, A. A., & Ghazali, U. (2015). Speed control of DC motor under varying load using PID controller. *International Journal of Engineering (IJE)*, *9*(3), 38-48.

Knospe, C. (2006). PID control. *IEEE Control Systems Magazine*, *26*(1), 30-31.

Marini, F., & Walczak, B. (2015). Particle swarm optimization (PSO). A tutorial. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, *149*, 153-165.

Nise, N. S. (2019). *Control systems engineering* (8. baskı). Wiley.

Nursoy, H., & Başçi, A. (2024). Comparison of the Performance of Type-1 and Interval Type-2 Fuzzy PI Controllers for Liquid Level Control in a Coupled Tank System. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, *17*(2), 523-542.

Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5. baskı). Pearson.

Pan, H., Wong, H., Kapila, V., & de Queiroz, M. S. (2005). Experimental validation of a nonlinear backstepping liquid level controller for a state coupled two tank system. *Control Engineering Practice*, *13*(1), 27-40.

Rahmat, M. F. A., & Rozali, S. M. (2008). Modeling and controller design for a coupled-tank liquid level system: Analysis and comparison. *Jurnal Teknologi*, *48*(D), 113-141.

Rashid, M. A., Izzuddin, T. A., Abas, N., Hasim, N., Azis, F. A., & Aras, M. S. M. (2013). Control of Automatic Food Drive-Through System using Programmable Logic Controller (PLC). *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, *6*(4), 41-50.

Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., Doyle, F. J., Badgwell, T., & Baldea, M. (1989). *Process dynamics and control* (Vol. 2). New York: wiley.

Sen, P. C. (1996). *Principles of electrical machines & power electronics*. (2. Baskı) John Wiley & Sons.

Shen, Y. F., Wu, S. J., & Deng, F. L. (2002). A survey of intelligent PID control. *Industrial Instrumentation & Automation*, *6*(11).

Tasan, S. O., & Tunali, S. (2008). A review of the current applications of genetic algorithms in assembly line balancing. *Journal of intelligent manufacturing*, *19*(1), 49-69.

Wang, J. Z., Ren, K. C., & Hu, B. (2011). PID control based on BP neural network adjusted. *Industrial Control Computer*, *24*, 72-73.

Wang, W., Zhang, J., & Chai, T. (2000). A survey of advanced PID parameter tuning methods. *Acta automatica sinica*, *26*(3), 347-355.

Weile, D. S., & Michielssen, E. (1997). Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *45*(3), 343-353.

Zhou, W. (2022). Research on the Control Methods Based on Liquid Level System. *Highlights in Science Engineering and Technology*, *13*, 198.