

Kablosuz Ağ Uygulamaları ile Dirençli Hata Kontrolünün Sıvı Seviyesine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

İsmail BAYRAM,^{1,2*}, Hale HAPOĞLU¹, Adnan ALDEMİR³

¹Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü, Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.01.2017; Kabul/Accepted : 17.12.2017)

ÖZ

Bu yayında, kablosuz proses kontrolü için geliştirilmiş bir proses simülatörü ve kablosuz iletişim uygulamaları için kullanılan antenler ve modüller gösterilmiştir. İlk defa parametrik olmayan yöntemler ile belirlenen, oransal integral türevsel ayarlama katsayıları kullanılarak dirençli hata kontrol kodunun kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Başlangıç kontrol edici katsayıları, kablosuz iletişimle bir basamak etki değişimine yanıt olarak elde edilen verileri gösteren proses reaksiyon eğrisi kullanılarak belirlendi. İyi ayarlanmış kontrol parametreleri bir MATLAB grafik aracı (SISO) aracılığıyla değerlendirildi. Proses simülatörün öngerilim değerlerini belirlemek için kontrol vanasının sabit açıklık derecesinde (% 10) başlangıç kararlı hal elde edildi ve sistem çıkışı 100s boyunca izlendi. 100 saniyenin sonunda, MATLAB/Simulink blok diyagramındaki kontrol anahtarı değiştirilerek kontrol algoritması etkinleştirildi ve sistemde farklı set noktası değişiklikleri yapıldı ve aynı anda parametrelerin etkisi gözlemlendi. İyi ayarlanmış parametreler ile dirençli hata kontrol kullanılarak farklı setoktalarını takip etmek için yapılan kablosuz kontrol deneylerinde sıvı seviyesinin istenen set değerlerinin etrafında düzelme eğiliminde olduğu görüldü. Önerilen kablosuz kontrol ve iletişim ağı performansları, farklı sıvı seviyeleri için hesaplanan hata karelerinin toplamı (ISE) ve hata mutlak değerlerinin toplamı (IAE) değerleri ile karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz iletişim, dayanıklı (güçlü) sıvı seviye kontrolü, MATLAB/Simulink, kablosuz ağ sensörleri, MATLAB/SISO grafik aracı.

Impact of Robust Error Control on Fluid Level by Wireless Network Applications

ABSTRACT

The paper presents a process simulator developed with wireless process control purpose and antennas and modules for wireless communication applications. The impact of robust error control code on wireless liquid level control experiments is investigated by means of three tuning coefficients of the proportional integral derivative actions which are initially determined by using non-parametric methods. The initial controller tuning coefficients were determined using the process reaction curve which sketched the data obtained in response to a step change by wireless communication. The well-tuned control parameters were assessed by means of a MATLAB graphical tool (SISO). To determine the bias values of the process simulator, an initial steady state was obtained and the system output was monitored at the constant control valve openness (10%) for 100s. At the end of 100 seconds, the control key in MATLAB/Simulink block diagram was changed and the control algorithm was activated and different set point changes were given to the system at the same time and the effect of the parameters was observed. It was seen that the liquid level tended to level off around the desired set values in the wireless control experiments performed to follow different set points by using the wireless robust error control with well-tuned parameters. The proposed wireless control and communication network performances were compared with the integral of squared error (ISE) and the integral of absolute error (IAE) criteria at various fluid levels.

Keywords: Wireless communication, robust fluid level control, MATLAB/Simulink, wireless network sensors, MATLAB/SISO graphical tool

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz iletişim, iki veya daha fazla nokta arasında herhangi bir kablo olmadan bilgi aktarımıdır. Kablosuz iletişimde kablolu iletişime göre kablo hattı döşeme ve bakım onarım gibi maliyetler yoktur. Bilgi alış-verişi havada yayılan elektromanyetik kablolarla gerçekleşmektedir. Herhangi bir kablo bağlantısı olmadığından rahatça hareket edilebilmekte, kullanıcılar için yer ve zaman kısıtlamaları ortadan kalkmaktadır [1].

Kablosuz iletişim sistemlerinin kurulumu daha hızlı ve basittir. Kablolu sistemlerin kurulamadığı ve çalışmaların tehlikeli olduğu yerlerde kablosuz iletişim ağı ile iletişim imkânı sağlanır. Dağ, tepe, nehir gibi kablolu iletişimi zor olan doğal alanlarda radyo dalgaları ile kablosuz iletişim kolaylıkla sağlanabilir. Kablosuz iletişim teknolojilerinin uygulama alanları oldukça geniştir. Kablosuz iletişim genel olarak eğitim, sağlık, ulaşım, ticaret, güvenlik, endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim sayesinde yakın gelecekte çoğu işin evden yürütülmesi ve böylece trafik,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ismailbayram@ahievran.edu.tr

insan yoğunluğu ve çevre kirliliğinin azalması düşünülmektedir [2].

Endüstriyel bir süreçte yer alan değişkenler; akış hızı, sıvı seviye, sıcaklık, basınç, derişim gibi değerlerdir. Bir kimyasal prosesin çeşitli değişkenlerini sabit tutabilmek için kontrol sistemleri kullanılmaktadır [3-6]. Sıvı seviye kontrolü bir kimyasal proses için çok önemlidir. Bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte artan endüstriyel proseslerin bilgisayar destekli kontrolü; çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı, ürün kalitesindeki farklılığın azaltılması, proses parametrelerinin anlık ve sürekli olarak izlenmesi ve prosesle istenmeyen bir durum oluştuğunda anında müdahale edebilmek açısından büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca proseslerin tasarım, kurulum ve üretim maliyetleri göz önüne alındığında, proseslerin ve çalışanların güvenliğini sağlamak için üretim sırasında değişiklik gösteren, farklı birçok proses parametresinin on-line bilgisayarlarla sürekli olarak ölçüm ve kontrol edilmesi son derece önemlidir [7-8].

PID kontrol ediciler; tasarım, üretim ve temin edilmelerinin kolay olması, ucuz olmaları, prosese monte edilmiş bir cihaz olarak veya bilgisayarda algoritma şeklinde gerçek zamanlı olarak kullanılabilirliği, çalışma prensiplerinin anlaşılır olması ve kontrol ayar parametrelerinin kolay kullanılabilirliği sonucunda endüstride çok geniş kullanım alanı bulan kontrol sistemleridir. Önce yayımlanmış çalışmalarda PID kontrol ayar parametrelerinin hesaplanması için geliştirilmiş çok sayıda metod mevcuttur. Bu yöntemler parametrik veya parametrik olmayan yapıda tasarlanabilirler ve deneysel olarak sistemin giriş ve çıkış değişken değerlerini kullanırlar. Cohen-Coon yöntemi en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir [9]. Proses reaksiyon eğrisi verileri parametrik olmayan yöntemlerde yaygın kullanıma sahiptir. Bu şekilde birinci mertebe iletim fonksiyonu için ölü zaman, zaman sabiti değerleri tespit edilerek oransal kazanç, integral ve türevsel zaman sabitleri hesaplanır. Farklı süreçlerde çıkış değişkenlerinin kontrol edilmesinde pozisyon ve hız formunda farklı PID algoritmaları kullanım alanı bulmaktadır [10-12]. Değişken yapı (DY) PID algoritması sıvı seviye kontrol çalışmaları için önerilmiştir. Bu metod ile yarı doğrusal yapıda olan DY PID için kapalı hat kararlılık ve etkinlik araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Kontrol etkinlik karşılaştırmaları yapılarak geleneksel PI sonuçlarına göre DY PI algoritmasının daha iyi olduğu bulunmuştur [13]. Açık hat transfer fonksiyonu kullanılarak yapılan kararlılık incelemeleri ile PID yapısına ait ayar değişkenlerinin büyüklük tayinleri sağlanmaktadır. Doğrusal olmayan dinamik davranışların yüksek ölçüde yer aldığı sürekli karıştırmalı reaktörde geleneksel PID kontrol kullanılarak oransal kazanç ile bir kararlı hal çalışma noktasına ulaşmak için dinamik yönlendirilmektedir. Burada integral hareketi ise tahmin edici görevi görmek ve türevsel zamanı dalgalı cevabı ve aşırı çıkış değişken değişimlerini engelleyici görevini yapmaktadır [14]. Set noktası takibi gerektiren, değişken ölü zamanlı doğrusal

olmayan sistemlerde PID kontrol edici etkinliklerinin genel araştırması yapılmış ve geleneksel kontrol edicilerin kolay ayarlanabilirliği, gürbüzlüğü vurgulanmıştır [15]. Ayrıca PID kontrol edicilerde kullanılan ayar değişkenleri farklı yöntemler ile farklı tasarım kriterleri sağlayacak şekilde hesaplanabilmektedir. Bu tasarımlarda zaman, frekans veya optimizasyon temellerine dayalı olarak ayar parametresi seçimleri oluşmaktadır. Bu üç farklı kontrol ayar parametre setini kullanan PID algoritması etkinliği, farklı endüstriyel proseslere uygulanmıştır. Bu deneysel çalışmadan ayar parametresi hesaplama metodlarının PID ile set noktası takibi veya yük etkisi bertaraf etme üzerine önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [16]. Literatürde kablosuz sıvı seviye ölçüm ve kontrolüne yönelik çalışmalar çok az sayıdadır. Ayrıca literatürde PID kontrol katsayılarının deneme-yanılma yöntemine göre MATLAB/SISO grafik aracı ile belirlendiği ve PID kontrol algoritmasının çevrimiçi kullanıldığı MATLAB/Simulink ile yürütülen sıvı seviye kontrolüne yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ilk defa parametrik olmayan yöntemler ile belirlenen, oransal integral türevsel ayarlama katsayıları kullanılarak dirençli hata kontrol kodunun kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Dinamik bir deney sisteminin kablosuz iletişim ile PID kontrolü için Cohen-Coon ve Deneme-Yanılmayöntemleri ile belirlenen PID kontrol katsayılarının sayısal değerleri (K_c , τ_i , τ_D) kullanılarak kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında kablosuz sıvı seviye kontrol için kullanılan farklı PID kontrol katsayıları ile farklı sıvı seviyeleri için hesaplanan hata karelerinin toplamı (ISE) ve hata mutlak değerlerinin toplamı (IAE) değerleri karşılaştırılmıştır.

2. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEM (EXPERIMENTAL SYSTEM and METHOD)

Deneysel çalışmalar, Cussons P3005 model proses kontrol simülatöründe gerçekleştirilmiş olup, veri iletişimini sağlamak için simülatör ile bilgisayar arasında kablosuz bağlantı sağlanmıştır. Kablosuz izleme ve kontrol için yeni ekipman eklentisi yapılmış ve proses kontrol simülatörü üzerinde bazı değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Simülatör giriş değişkenlerinden sıvı seviye kontrol vanası, ısıtıcı ve basınç kontrol vanası kalibre edilerek çıkışları modüllere ilişkilendirilmiştir. Bu modüller iki anten hattında bulunan verileri kullanmaktadır. Kontrol simülatörü kumanda panosunda ise elektronik devreler yer almaktadır. Şekil 1'de kablosuz kontrol amacıyla geliştirilen proses simülatörü ve Şekil 2'de ise simülatör ile bilgisayar arasında kablosuz veri aktarımını sağlayan antenler ve modüller gösterilmiştir. Bu sistemde sıcaklık, basınç, sıvı seviye ve akış hızı ölçüm ve kontrolü yapılabilmektedir.



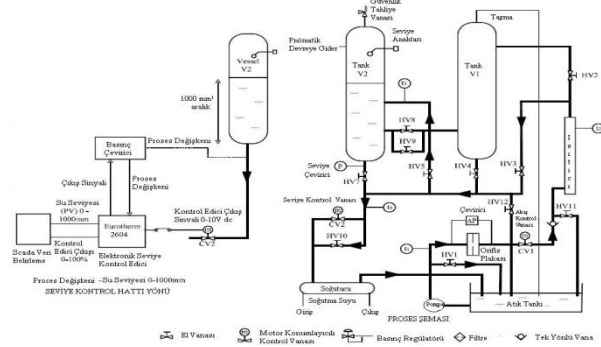
Şekil 1. Kablosuz proses kontrol amacı ile geliştirilen proses simülatorü (Process simulator developed with wireless process control purpose)



Şekil 2. Kablosuz veri aktarımı için kullanılan antenler ve modüller (Antennas and modules for wireless data transmissions)

Proses kontrol simülatoründe, bir adet su besleme tankı ve pompası, bir adet ceketli soğutucu, sistemde suyun bulundurulduğu iki adet cam tank, bir adet elektrik ile çalışan sıvı seviye kontrol vanası (CV1) ve akış hızı kontrol vanası (CV2), bir adet orifis metre, diferansiyel basınç farkını sıvı seviyesine çeviren bir adet transmitter, sıvının taşmasını önlemek amacıyla pompanın otomatik olarak kapanmasını sağlayan sigorta, pnömatik basınç kontrol edici indikatörü, pnömatik basınç kaydedici, pnömatik olarak çalışan basınç kontrol vanası, sisteme istenilen basınç değerindeki havayı ileten iki adet regülatör bulunmaktadır. Bunlara ek olarak sistemdefarklı deney düzeneği oluşturabilmek için elle ayarlanan vanalar yer almaktadır. Su tankından pompa yardımı ile çekilen su sırasıyla CV1 ve CV2 tanklarına dolmakta ve CV2 çıkışında seviye kontrol vanasının açıklığına göre CV2'deki sıvı seviyesinin ölçüm ve kontrolü yapılmaktadır. CV2 tankındaki sıvı seviyesi, tankın içindeki suyun oluşturduğu basınç farkının tankın hemen altında bulunan transmitter ile sıvı seviyesine dönüştürülerek dnm olarak ölçülmektedir. CV2 tankında su seviyesi belirli bir değere kadar yükseldiğinde otomatik sigorta çalışarak pompayı durdurmaktadır. Ayrıca CV1 tankının tamamen su dolması halinde tankın üstündeki tahliye borusu ile su tankına geri gönderilmekte ve CV2 tankının tamamen dolması halinde ise taşmayı önlemek için CV2 tankının üstünde otomatik olarak çalışan tahliye vanası ile suyun fazlası boşaltılmaktadır. CV1 ve CV2 tanklarının boşalmasını veya taşmasını önlemek amacıyla bu iki tank arasında bulunan by-pass vanası ile gerektiğinde bu iki tank

arasında su geçişi yapılabilir. Proses kontrol simülatoründe sıvı seviye deneyi için seviye kontrol döngüsü ve proses akım şeması Şekil 3'te gösterilmiştir [17].

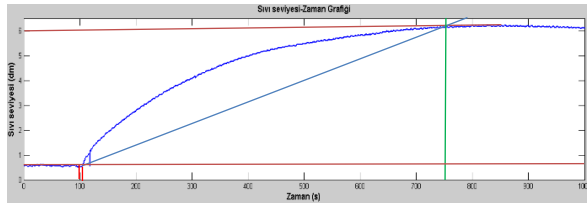


3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Başlangıç PID kontrol edici katsayıları, Cohen-Coon yöntemi ile kablosuz olarak bir basamak etki değişimine yanıt olarak elde edilen verileri gösteren proses reaksiyon eğrisi kullanılarak belirlendi. Bu yöntemde prosesin birinci mertebeden ölü zamanlı transfer fonksiyonuna sahip olduğu kabul edilmiştir [9]. İyi ayarlanmış kontrol parametreleri bir MATLAB grafik aracı (SISO) aracılığıyla değerlendirildi. Proses simülatörün yatışkın hal değerlerini belirlemek için kontrol vanasının sabit açıklık derecesinde (% 10) başlangıç kararlı hal elde edildi ve sistem çıkışı 100s boyunca izlendi. 100 saniyenin sonunda, MATLAB/Simulink blok diyagramındaki kontrol anahtarı değiştirilerek kontrol algoritması etkinleştirildi ve sistemde farklı set noktası değişiklikleri yapıldı ve aynı anda parametrelerin etkisi gözlemlendi.

3.1. Cohen-Coon Yöntemi ile Kablosuz PID Sıvı Seviye Kontrol Sonuçları (Wireless PID Liquid Level Control Results with Cohen-Coon Method)

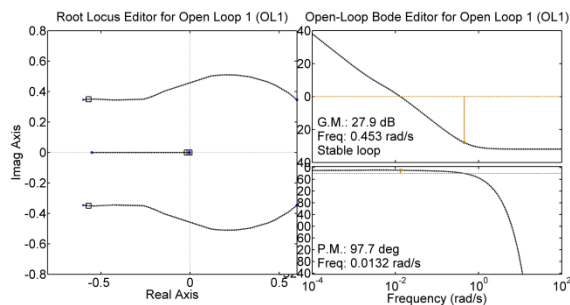
Cohen-Coon yöntemi ile PID ayar parametre değerlerinin belirlenmesinde %10-%65 pozitif basamak etki değerleri kullanılmıştır. Basamak etki sonucunda elde edilen sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Bu teknik ile hesaplanan parametreler $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$ MATLAB/SISO tool grafiksel uygulamalarında başlangıç olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. Basamak etki sonucu oluşturulan reaksiyon eğrisi (Obtained reaction curve with step effect)

Buradan elde edilecek hat transfer fonksiyonu Eşitlik (1) ile ve bu eşitlik kullanılarak elde edilen MATLAB SISO tool grafikleri Şekil 6'da verilmiştir;

$$G = \frac{e^{-5s}(0.02545s^2 + 0.01414s + 0.00005)}{s^2 + 0.0062s} \quad (1)$$



Şekil 6. MATLAB SISO tool kullanarak ve $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$ kontrol edici parametreleri ile elde edilen Root locus grafiği (Root locus diagram generated using MATLAB SISO tool and the controller tuning parameters: $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$.)

Şekil 6 incelendiğinde kararlı bir kapalı hatsonucuna ulaşıldığını göstermektedir. Bu parametre seti kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Farklı set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden hesaplanan ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre set noktasının 4 dm olduğu hal için en iyi kontrol etkinliği elde edilmiştir.

Tablo1. Cohen-Coon yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol etkinlik değerleri (Performance values of PID control which coefficients are determined with Cohen-Coon)

Set Değerleri	ISE	IAE	U_0	U_n	ϵ_n
3 dm	5669.419	1517.042	10	57.286	-0.125
4 dm	1222.888	674.986	10	60	-0.4
5 dm	1624.476	753.372	10	63.333	0.571
6 dm	3543.412	1146.539	10	65	0.333

3.2. Deneme-Yanılma Yöntemi ile Kablosuz PID Sıvı Seviye Kontrol Sonuçları (Wireless PID Liquid Level Control Results with Trial and Error Method)

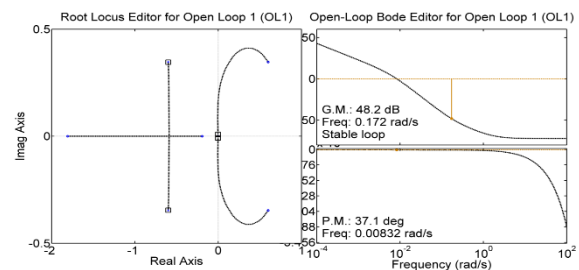
PID kontrol algoritmasındaki K_c , τ_i , τ_D parametreleri MATLAB SISO tool kullanılarak deneme-yanılma yöntemi ile değiştirilerek en iyi sıvı seviye kontrol sonuçlarının elde edildiği katsayılar Tablo 2'de verilmiştir. Verilen PID parametreleri deneme yanılma yöntemi ile belirlenerek farklı set noktalarında kablosuz kontrol deneyleri yapılmıştır.

Tablo2. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları (PID control coefficients determined by trial and error method)

Katsayılar	K_c	τ_i	τ_D
Değerler	0.8	7.2s	0.5s

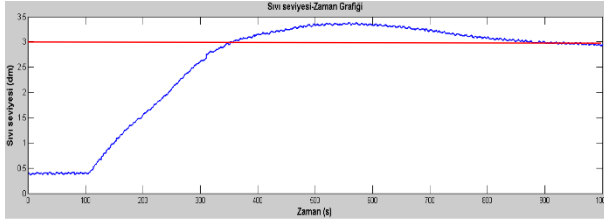
MATLAB SISO tool ile $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$ PID parametreleri kullanılarak hesaplanan açık hat transfer fonksiyonu Eşitlik (2) ile ve bu eşitlik kullanılarak elde edilen MATLAB SISO tool grafikleri Şekil 7'de verilmiştir;

$$G = \frac{e^{-5s}(0.000248s^2 + 0.000496s + 0.0000862)}{s^2 + 0.0062s} \quad (2)$$

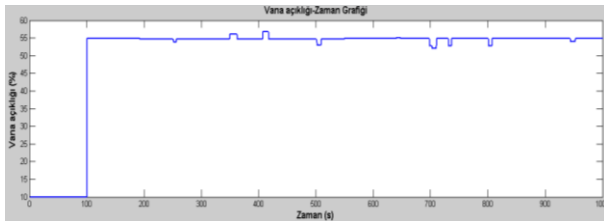


Şekil 7. MATLAB SISO tool kullanarak ve $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$ kontrol edici parametreleri ile elde edilen Root locus grafiği, (Root locus diagram generated using MATLAB SISO tool and the controller tuning parameters: $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$)

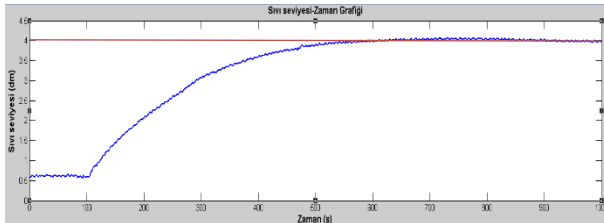
Daha iyi sıvı seviye kontrolü elde etmek amacıyla MATLAB/SISO tool kullanılarak Deneme-Yanılma Yöntemi ile PID kontrol parametreleri belirlenmiş ve yöntemin uygunluğunu ve kontrol edici performansını incelemek için farklı set noktalarında kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kablosuz deneyler sonrasında ISE ve IAE değerleri hesaplanarak Cohen-Coon yöntemiyle hesaplanan ISE ve IAE değerleri ile karşılaştırılmıştır.



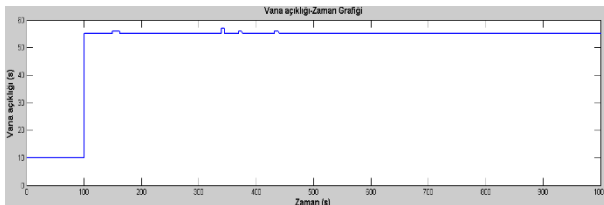
Şekil 8. PID kontrol deneyinde set noktası 3dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 3 dm)



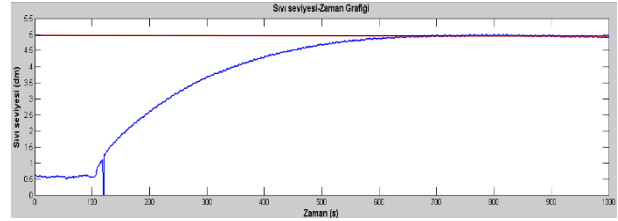
Şekil 9. PID kontrol deneyinde set noktası 3dm için sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 3 dm)



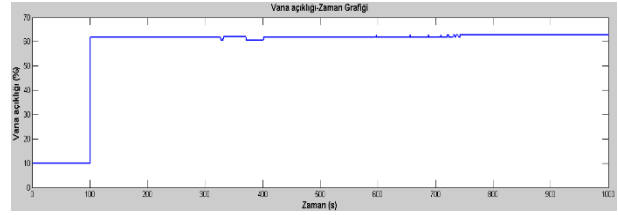
Şekil 10. PID kontrol deneyinde set noktası 4dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 4 dm)



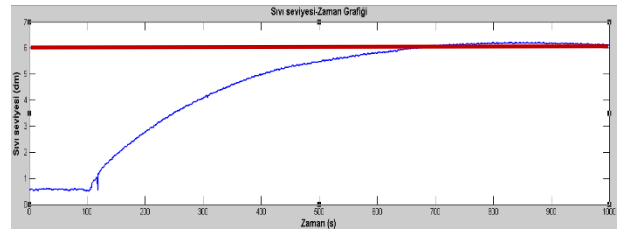
Şekil 11. PID kontrol deneyinde set noktası 4dm için sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 4 dm)



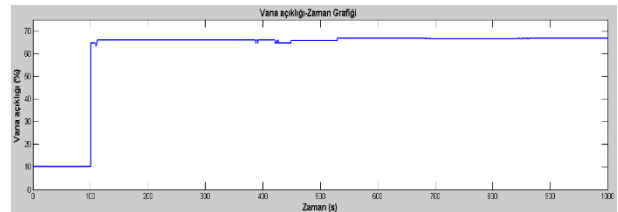
Şekil 12. PID kontrol deneyinde set noktası 5dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 5 dm)



Şekil 13. PID kontrol deneyinde set noktası 5dm için vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 5 dm)



Şekil 14. PID kontrol deneyinde set noktası 6dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 6 dm)



Şekil 15. PID kontrol deneyinde set noktası 6dm için vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 6 dm)

Tablo 3'te farklı set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden hesaplanan ISE ve IAE değerleri verilmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile elde edilen ISE ve IAE değerleri ile Cohen-Coon yöntemi ile elde edilen ISE ve IAE değerleri karşılaştırıldığında deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde daha iyi kontrol performansı gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3. Deneme-Yanılma yöntemi ile parametreleri belirlenen PID kontrol performans değerleri (Performance values of PID control which parameters are determined with trial-and-error method using MATLAB/SISO tool)

Set Değerleri	ISE	IAE
3 dm	962.695	671.136
4 dm	1932.274	894.606
5 dm	3827.774	1273.808
6 dm	5614.768	1521.516

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde öncelikli olarak sıvı seviye kontrol vanası açıklığı %10 değerinde 100s çalıştırılarak sistemin yatışkın hali gözlenmiş, daha sonra PID kontrol algoritması devreye alınarak sistemin kablosuz kontrolü gerçekleştirilmiştir. MATLAB/SISO tool kullanılarak Deneme-yanılma yöntemi ile kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde en iyi kontrolü sağlayan parametrelerin değerleri $K_c=0.8$, $\tau_i=7.2s$, $\tau_D=0.5s$ olarak belirlenmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan kablosuz sıvı seviye deney sonuçları incelendiğinde kontrol vanası açıklığının başlangıçta ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla sabitlendiği gözlenmiştir. Kontrol vanası açıklığına bağlı olarak sıvı seviyesinin düzenli olarak arttığı ve istenilen set değerlerinde sabitlendiği görülmüştür. Deneysel sonuçlara göre deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı kablosuz sıvı seviye kontrolünde istenilen sıvı seviye değerlerine ulaşarak kablosuz sıvı seviye kontrolü başarıyla sağlanmıştır. 48.2 dB kazanç marjı ve 37.1 derece faz marjı ile dayanıklı (güçlü) kontrol içingereken parametreler belirlendi. Kablosuz sıvı seviye deney sonuçları ile hesaplanan ISE ve IAE değerleri karşılaştırıldığında deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının Cohen-Coon yöntemi ile kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerine göre daha iyi kontrol performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının sıvı seviye kontrolünde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

SİMGELER (SYMBOLS)

K	proses kazancı
K_c	oransal kontrol sabiti
t_d	ölü zaman
U	proses giriş sapma değişkeni
Y	proses çıkış sapma değişkeni
τ	proses zaman sabiti
τ_i	integral zaman sabiti
τ_D	türevsel zaman sabiti
τ_r	proses cevap zamanı

Δ birinci fark operatörü

Kısaltmalar (Abbreviations)

DY	değişken yapılı
ISE	hata kareleri integrali
IAE	hata mutlak değeri integrali
PID	oransal integral türevsel

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (AÜ BAPRO) 10A4343001 nolu proje ile desteklendiği için Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aldemir A., Hapoğlu H. and Albaz M., "Application of MATLAB/Simulink Program for Wireless Generalized Predictive Control", *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(12): 19-22, (2014).
- [2] Murari A. and Lotto L., "Wireless Communication Using Detectors Located Inside Vacuum Chambers", *Vacuum*, 72: 149-155, (2004).
- [3] Çetinkaya S., Durmazuçar H. H., Zeybek Z., Hapoğlu H. and Albaz M., "Application of Temperature Control In A Batch Polymerization Reactor At Different Optimal Temperature", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2): 383-392, (2013).
- [4] Camcıoğlu Ş., Özyurt B., Zeybek Z. and Hapoğlu H., "Experimental Application of One Step Ahead Advanced pH Control To Water-Based Paint Wastewater Treatment", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3): 655-664, (2016).
- [5] Altuntaş S., Hapoğlu H., Ertunç S. and Albaz M., "Experimental pH Advance Control of The Cheese Whey Batch Kefir-Type Drink Production With Manipulated Base Flowrate", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3): 709-716, (2016).
- [6] Donatas L., Rimvydas S. and Vytautas G., "Adaptive Set-Point Control System For Microbial Cultivation Processes", *Nonlinear Analysis-Modelling and Control*, 21(2): 153-165, (2016).
- [7] Martin D., Klavco F. J., Janecek F. and Kvasnica M., "Optimal Control of a Laboratory Binary Distillation Column via Regionless Explicit MPC", *Computers and Chemical Engineering*, 96: 139-148, (2017).
- [8] Cancelier A., Claumann C. A., Bolzan A. and Machado R.A.F., "Predictive Control of Batch Polymerization System Using A Feedforward Neural Network With Online Adaptation By Genetic Algorithm", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33(1): 177-190, (2016).
- [9] Cohen, G. H. and Coon, G. A., "Theoretical Consideration of Retarded Control", *Transactions of ASME*, 75: 827-834, (1953).

- [10] Aldemir A. and Hapoğlu H., "Comparison of PID Tuning Methods For Wireless Temperature Control", *Journal of Polytechnic*, 19(1): 9-19, (2016).
- [11] Altinten A., Erdogan S., Alioglu F., Hapoglu H. and Alpbaz M., "Application of Adaptive PID Control With Genetic Algorithm to A Polymerization Reactor", *Chemical Engineering Communications*, 191: 1158-1172, (2004).
- [12] Giwa A., "PI and PID Control of a Fuel Additive Reactive Distillation Process", *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(11): 6779-6793, (2016).
- [13] Boiko I., "Variable-Structure PID Controller for Level Process", *Control Engineering Practice*, 21(5): 700–707, (2013).
- [14] Ramirez J. A., Alvarez J., and Schaum A., "On The Global Stability of Conventional PID Control for A Class of Chemical Reactors", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 22(5): 575-590, (2012).
- [15] Aström K. J. and Hagglund T. H., "The Future of PID Control", *Control Engineering Practice*, 9(11): 1163-1175, (2001).
- [16] Liu G. P. and Daley S., "Optimal-Tuning PID Control for Industrial Systems", *Control Engineering Practice*, 9(11): 1185-1194, (2001).
- [17] Bayram İ., "İleri Kontrol Yöntemleriyle Kablosuz Sıvı Seviye Kontrolü", Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).