

Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemlerde Etkileşimin Yok Edilmesi: Proses Kontrol Sistemi Uygulaması

Mehmet Ali Üstüner^{1*}, Sezai Taşkın²

¹ Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE, 0 236 2012161, 0 236 2412143, mehmetali.ustuner@cbu.edu.tr

² Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE, 0 236 2012160, 0 236 2412143, sezai.taskin@cbu.edu.tr

*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Recieved: 20 Nisan (April) 2015

Kabul / Accepted: 10 Temmuz (July) 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.74191>

Özet

Bu çalışma, bir proses kontrol sistemi üzerinde çok girişli çok çıkışlı (Multi-Input Multi-Output-MIMO) sistemlerdeki etkileşimin yok edilmesi konusu üzerinedir. Sistem üzerindeki akış hızı ve basınç değişimini aynı anda kontrol etmek amacı ile LabVIEW grafiksel programı tabanlı bir kontrolör uygulaması gerçekleştirilmiştir. PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesinde Ziegler-Nichols yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre belirlenen parametrelere göre kontrol edilen değişkenlerin proses sistemi üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve etkileşim miktarıyla orantılı değişen kontrolör parametrelerinin MIMO sistemlere daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Etkileşimli Sistemler, MIMO, PID, Ziegler-Nichols

Decoupling Of Multi-Input Multi-Output Systems: A Process Control System Application

Abstract

This study is about decoupling for multi-input multi-output (MIMO) process control systems. Flow rate and pressure variations on the process control system are being controlled simultaneously using by a configured controller which is based on LabVIEW graphical programming. Ziegler-Nichols method is used for determining the parameters of the PID controller. Finally, impacts on the process system of the determined controller parameters are observed, and it is concluded that the controller parameters that changing with coupling rate can be more suitable for MIMO systems.

Keywords – Decoupling, PID, MIMO, Ziegler-Nichols

1 Giriş

Bir çıkışın bir değişkene bağlı kontrol edildiği sistemler tek-girişli tek-çıkışlı (single-input single-output, SISO) sistemler olarak adlandırılır [1]. Endüstride kullanılan birçok sistem, bir çıkışın sadece bir değişkenle kontrol edilebildiği yapıya uymaz. Sistemler birden fazla giriş ve çıkışa sahip olabilirler. Bu tip sistemler, çok girişli-çok çıkışlı (Multi-Input Multi-Output-MIMO) ya da çok değişkenli sistemler olarak

tanımlanır. Çok girişli - çok çıkışlı sistemlerin kontrolünde çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemlerin başında, sistem çıkışlarından birinin diğer çıkışlardan ya da diğer çıkışlara bağımlı girişlerden olumsuz yönde etkilenmesi gelmektedir. Bugüne kadar çeşitli kontrol yapıları bu sistemlerin kontrolünde uygulanmıştır. Seviye, basınç, akış ve sıcaklık gibi kontrol işlemlerinin bir arada bulunduğu üniteler için tasarlanan kontrolörler, genelde her bir işlemi bağımsız olarak kontrol etmektedir [2]. Bu sistemlerde

kontrolörler aynı anda genellikle sadece bir çevrimi kontrol ederler. MIMO sistemlerde ise birden fazla çevrim olduğundan, tasarlanan kontrolör bu çevrimlerin hepsini kontrol etmek zorundadır. Hem SISO hem de MIMO sistemler için yaygın olarak kullanılabilen kontrolör algoritmalarından birisi de hatadaki değişime karşın oransal-integral-türev katsayılarına göre bir çıkış kontrol sinyali üreten PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrolörlerdir [3].

MIMO sistemler için yapılmış literatürde rastlanılan bazı çalışmalardan örnekler şu şekilde özetlenebilir: Q.-G. Wang ve ark. [4] PID kontrolü ile birlikte iki girişli iki çıkışlı (TITO) sistemler için etkileşimi ortadan kaldıracak kontrolör üzerine çalışmışlardır. A.F. Gilbert [5] PI kontrollü 2x2 MIMO sistemlerdeki etkileşim üzerine çalışmıştır. D. Vrančić [6] çok değişkenli sistemlerde etkileşimi gidermek için çoklu entegrasyon tekniği ve optimum büyüklük kriteri üzerine bir çalışma yapmıştır. L. Zhai ve T. Chai [7] etkileşimsiz akıllı PID kontrol konusunda çalışmışlardır.

Kapalı çevrim bir sistemde, PID kontrolör hatayı sıfırlamak için sürekli değişen bir sinyal üretir. Böylece sistemi kararlı bir şekilde referansa yaklaştırır. Bu tür sistemlerde bozucu etki doğrudan kontrol edilen girişi etkiler. Fakat MIMO sistemlerde bu bozucu etkiler, bozucu etki verilmek istenen girişin yanında diğer girişleri de etkilemektedir. Dolayısıyla herhangi bir girişe verilen bozucu etkiden tüm sistem etkilenmektedir. Sistemdeki bu etkileşim, kontrol edilen giriş üzerinde ani artma veya azalmalara sebep olur.

2 Materyal ve Metot

2.1 Proses Kontrol Sistemi

Bu çalışmada, Festo marka MPS-PA Compact Workstation deney seti uygulama aracı olarak kullanılmıştır. Deney seti Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu deney setinde endüstriyel uygulamaları temsil eden, farklı deneysel çalışmalara ve senaryolara imkan veren dijital ve analog sensörlerle birlikte 4 farklı kapalı çevrim sistemi bulunmaktadır. Bunlar; (i) Seviye kontrol, (ii) Akış kontrol, (iii) Basınç kontrol, (iv) Sıcaklık kontrol sistemidir.

Herhangi bir kontrolör ile bu kapalı çevrimleri ayrı ayrı veya kaskat kontrol şeklinde gerçekleştirmek mümkündür [8]. Sistem mevcut halde bir PLC donanımı üzerinden yukarıda sayılan her bir kapalı çevrim

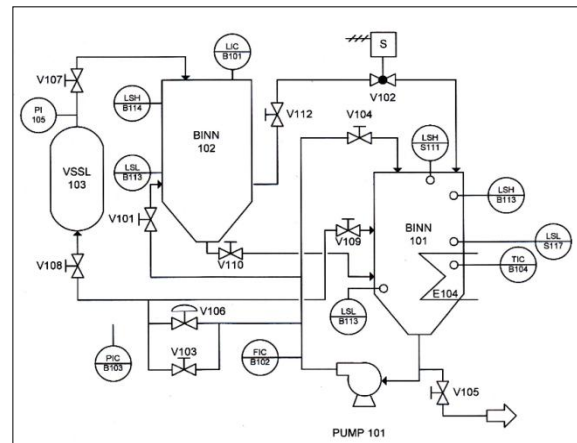
için tek giriş tek çıkışlı olarak kontrol edilebilmektedir. Kullanıcının kontrolör parametrelerine erişimi bir operatör paneli üzerinden sağlanmaktadır.

Deney setinin PI diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Çalışmada deney setindeki BINN 101 tankı, pompa (PUMP 101), akış sensörü (FIC B102), oransal vana (V106) ve piezorezistif basınçölçer (PIC B103) elemanları kullanılmıştır.



Şekil 1. MPS-PA Compact Workstation Deney seti; 1) Basınç sensörü, 2) Oransal vana, 3) Akış sensörü, 4) Pompa motoru

Manuel vanalar olan V103, V104 ve V109 vanaları, sıvının oransal vana tarafından da deneye uygun olarak akması için yaklaşık %50 açık olacak şekilde ayarlanmıştır. Akış sensörü pompanın hemen çıkışında olup frekans sinyali ile anlık olarak sıvının akış hızını ölçmektedir. Piezorezistif basınçölçer bulunduğu borudaki sıvı basıncını ölçmektedir ve bu basınç oransal vananın geçirdiği sıvı miktarına göre değişir.



Şekil 2. PI Diyagramı MPS-PA Compact Workstation (ISA 5.5 / ISA 5.1 Standart)

2.2. Kontrolör ve Yazılımı

Bu çalışmada sistemi kontrol etmek amacıyla Şekil 3'te gösterilen National Instrument Compact Field Point (NI-cFP) cFP-2200 gerçek zamanlı donanımı ve NI LabVIEW grafiksel programı tercih edilmiştir. NI Compact Fieldpoint programlanabilir otomasyon kontrolör (Programmable Automation Controller – PAC), gelişmiş gömülü kontrol, veri giriş ve ağ bağlantısı gerçekleştiren endüstriyel kontrol uygulamaları için tasarlanmıştır [9]. Bir PC'nin yazılımı, esnekliği ve işlevselliği ile PLC'nin teknik özelliklerini ve güvenilirliğini birleştirebilen bir cihaz olduğu için tercih edilmiştir.



Şekil 3. NI cFP-2200

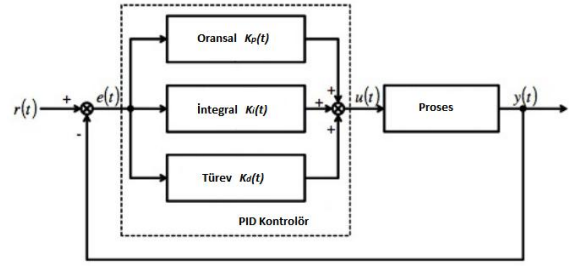
2.3. PID Kontrol Prensipleri

PID kontrolör oransal-integral-türev kontrolör olarak da bilinir. Şekil 4'te bir PID kontrolöre ait blok diyagramı gösterilmektedir.

PID kontrol referans sinyali $r(t)$ ile çıkış değeri $y(t)$ arasındaki hatayı $e(t)=r(t)-y(t)$ kullanarak kontrolü sağlar. PID kontrolün çıkışı $u(t)$ ise hatanın oransal katsayısıyla çarpımının, integralinin ve türevinin toplamıdır. Şekil 4'teki $K_p(t)$, $K_i(t)$ ve $K_d(t)$ sırasıyla oransal, integral ve türev kazançlarıdır. Sürekli zamanda kontrol algoritması Denklem (2.1)'de gösterilmiştir [10].

$$u(t) = K_p(t) \cdot e(t) + K_i(t) \int_0^t e(t) \cdot dt + \frac{K_d(t) \cdot de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

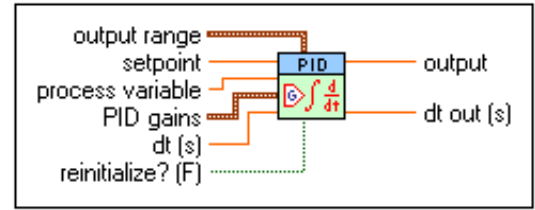
Bu çalışmanın deneysel uygulamaları kapsamında giriş olarak birbirini etkileme oranı en fazla olan akış hızı ve basınç değişkenleri kontrol edilmiştir. Çıkış olarak da akış hızını kontrol etmek için pompa ve basıncı kontrol etmek için oransal vana kullanılmıştır.



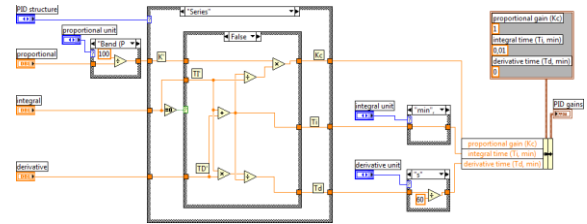
Şekil 4. PID kontrol blok diyagramı

Sistem kontrolü için LabVIEW kütüphanesinde yer alan PID kontrolör tercih edilmiştir. Kullanılan PID bloğu ve içeriği Şekil 5'te ve Şekil 6'da verilmiştir.

Sisteme uygun PID parametrelerini bulmak için önce Ziegler-Nichols yöntemi ile deneyler yapılarak başlangıç PID parametreleri elde edilmiştir. Daha sonra sistemi daha kararlı çalıştırmak için P, I, D katsayı ayarlarının kapalı çevrim cevabına etkisini [10] gösteren Tablo 1 kullanılarak PID katsayılarında manuel ayarlamalar yapılmıştır.



Şekil 5. Kullanılan PID Giriş-Çıkışları



Şekil 6. Kullanılan PID Kontrolöre Ait LabVIEW Blok Diyagramı

Tablo 1. P, I, D katsayı ayarlarının kapalı çevrim cevabına etkisi

Kontrolör	Yükselme Zamanı	Aşma	Oturma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası	Kararlılık
K_p artarsa	Kısalır	Artar	Az değişir	Azalar	Azalar
K_i artarsa	Kısalır	Artar	Artar	Ortadan kalkar	Azalar
K_d artarsa	Az değişir	Azalar	Azalar	Az değişir	Artar

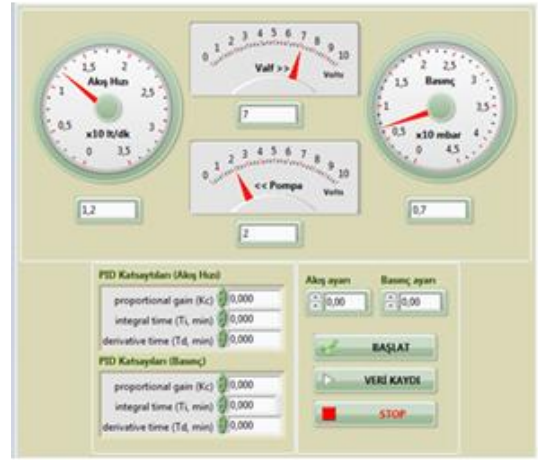
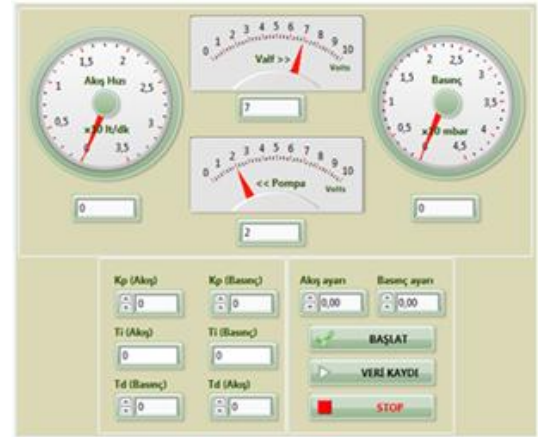
2.4. Ziegler-Nichols Yöntemi

Ziegler-Nichols yöntemi ile PID parametrelerini belirleyebilmek için sistemin integral ve türev kontrollerini kapatmak gerekmektedir. Sadece oransal kontrol ile sistem osilasyona gidene kadar K_p değeri artırılır. Sistemi periyodik osilasyonda kontrol eden en düşük oransal kazanç (K_u) değeri ile sistemin periyodu (P_u) not edilir. Bu değerlere göre Tablo 2'de gösterilen Ziegler-Nichols parametre ayarı formülleri kullanılarak PID parametreleri belirlenir [11].

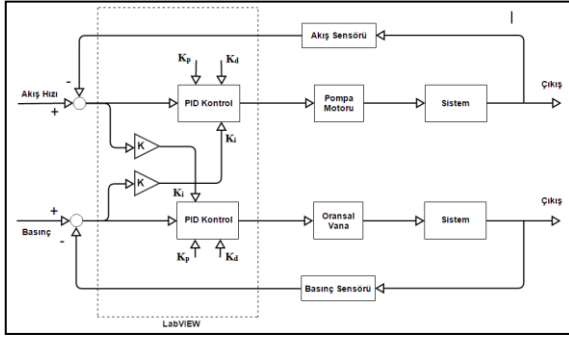
Tablo 2. Ziegler-Nichols parametre ayarı formülleri

	K_p	K_i	K_d
P Kontrol	$K_u/2$		
PI Kontrol	$K_u/2,2$	$P_u/1,2$	
PID Kontrol	$K_u/1,7$	$P_u/2$	$P_u/8$

Deney için kullanılan LabVIEW kullanıcı arayüzleri Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Hazırlanan bu arayüz programı ile sistemi kontrol etmek ve değişkenlerin değişimini çevrimiçi izlemek oldukça mümkündür. Arayüzde akış hızı ve basınç değeri ile oransal vananın (valf) ve pompa motorunun çalışma durumunu gösteren dört gösterge kullanılmıştır.

**Şekil 7.** Ziegler-Nichols yöntemi için kullanılan arayüz**Şekil 8.** Değişken integral katsayısı için arayüz

Oransal vana ve pompanın hangi PID parametrelerine göre çalışacağı ise manuel olarak girilmektedir. Sistemi çalıştırdıktan sonra zaman ile birlikte arayüzdeki tüm bilgileri alabilmek için veri kaydı butonu bulunmaktadır. Sistemden veriler alınıp değerlendirildikten sonra arayüz arkasındaki programa eklemeler yapıp, arayüzdeki integral katsayı kısmı kontrol yerine gösterge olarak değiştirilmiştir. Anlık olarak integral katsayısının değişimi görülebilmektedir. Sistemin Blok diyagramı Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Sistemin blok diyagramı

3 Deney Sonuçları

Ziegler-Nichols yöntemi, PID ile kontrol edilen ve matematiksel modeli bilinmeyen sistemlerin PID katsayılarını deneysel olarak bulmak için geliştirilen bir yöntemdir [12]. Çalışmada en iyi başlangıç PID katsayıları belirlemek için, basınç ve akış hızı ayrı ayrı SISO olarak çalıştırılıp Ziegler-Nichols yöntemi uygulanmıştır. Belirlenen katsayılar, sistemi MIMO olarak çalıştırmak için kullanılmıştır.

Sistemde, basınç ve akış hızı doğrudan borulardaki suya bağlı olduğundan, basınç veya akış hızından herhangi birinin değişimi diğerini anında etkilemektedir. Bundan dolayı Ziegler-Nichols metodu ile bulunan başlangıç PID katsayılarının sistemdeki iki girişi de kararlı bir şekilde referansa oturtmak için yetersiz kaldığı görülmüştür.

Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan katsayılar kullanıldığında sistemin referans değerine ulaşmadan osilasyona girdiği görülmüştür. Ziegler-Nichols yönteminden yola çıkılarak oransal etki (K_p) osilasyon giderilene kadar azaltılmıştır. Son olarak K_p değeri Ziegler-Nichols yöntemiyle elde edilen değerinin %70'i olarak belirlenmiştir.

Deney sonuçlarından sistemin oturma zamanına baktığında çok uzun sürdüğü görülmüştür. Oturma zamanını azaltmak için ise P, I, D katsayı ayarlarının kapalı çevrim cevabına etkisini gösteren Tablo 2 kullanılmıştır. Tabloya göre integral etkisi ile oturma zamanının doğru orantılı olduğu görülmektedir [13]. Bunun için integral katsayısı, sistemin oturma zamanı makul seviyelere ininceye kadar azaltılmış ve en uygun katsayı Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan katsayısının %50'si olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler

sonucunda bu iki değer karşılaştırıldığında, Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan K_i değerine bağlı sistemin oturma zamanının uzun olduğu görülmüştür. Deney sonucu Şekil 10'da gösterilmiştir. Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan K_i değerinin %50'sini alarak oturma zamanını kısalttığımızda ise, basınç ve akış hızının birbirini etkilemesinden dolayı sistemde ani dalgalanmalar görülmüştür. Deney seti, basınç ve akış hızı olmak üzere iki ayrı SISO sistem olarak çalıştırıldığında K_i katsayılarının sadece oturma zamanını etkilediği görülmüştür. Fakat basınç ve akış hızını aynı anda kontrol ettiğimizde ise istediğimiz oturma zamanındaki ani dalgalanmaların sistemdeki etkileşimden kaynaklandığı görülmüştür. Çalışmada bu etkileşimi gidermek için bir çıkışın diğerine etkisi Denklem 2'de görülen formül ile integral katsayılarına yansıtılmıştır.

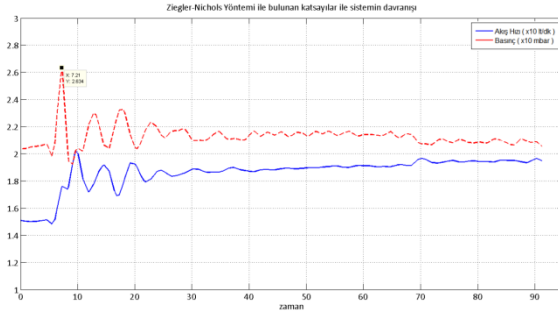
$$K_i = 1.2 - 2x|e| \quad 0.6 \leq K_i \leq 1.2 \quad (3.1)$$

Denklemden sistemin daha hızlı referansa oturması için, Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan K_i değerinden (1.2) hata miktarı çıkarılarak yeni K_i değeri hesaplanmıştır. Ayrıca yeni oluşturulan K_i değerlerinin 0.6-1.2 aralığının dışına çıkmaması için programda sınırlandırılmıştır. Denklemden hatanın mutlak değeri kullanıldığı için negatif hata değeri söz konusu değildir. Hatanın iki katının alınmasının sebebi 0.6'dan daha (akış hızı için $\times 10$ lt/dk, basınç için $\times 10$ mbar) fazla hata olduğunda sistemin en küçük integral katsayısıyla çalışmasını sağlamaktır. Etkileşim azalmaya başladığında sistem Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan integral katsayısına yaklaşarak dengede kalmaktadır. Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan katsayılar ve sistemde kullanılan katsayılar Tablo 3'de yer almaktadır. Etkileşim arttığında ise, integral katsayısı etkileşim miktarına bağlı olarak azalmakta sistemin oturma süresini azaltmaktadır. Deney sonucu Şekil 11'da gösterilmiştir.

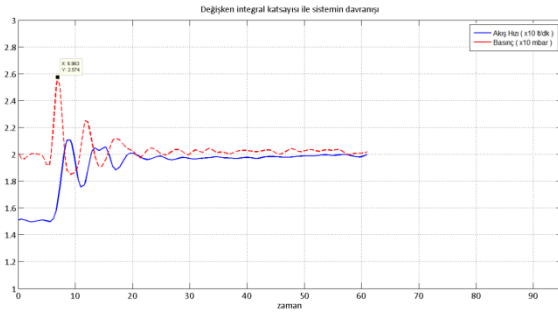
Tablo 3. Deneylerden bulunan ve sistemde kullanılan katsayılar

	K_p	K_i	K_d
Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan katsayılar	3,53	1,2	0,325
Sistemde kullanılan katsayılar	2,47	0,6-1,2	0,325

Şekil 10 ve 11'deki deney sonuçlarını kıyasladığımızda akış hızı referansının artmasıyla etkileşimsiz sistemde basınç sapmasının daha az olduğu ve eski değerine çok daha çabuk ulaştığı görülmektedir.



Şekil 10. Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan K_i değeriyle sistemin davranışı



Şekil 11. Değişken integral katsayısı ile sistemin davranışı

4 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, MIMO sistem olarak bir proses kontrol deney seti üzerinde basınç ve akış hızı eş zamanlı olarak kontrol edilmiştir. Deney setindeki boruların içinden geçen sıvının basıncı ve akış hızı ölçüldüğünden, bu iki değer birbirine oldukça bağımlıdır ve birbirini kolayca etkilemektedir. Yapılan deneyler sonucunda etkileşimli bir sistem için Ziegler-Nichols yöntemiyle ve manuel ayarlama ile bulunan integral katsayılarının ayrı ayrı avantajları ve dezavantajlarının olduğu görülmüştür. Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan değerler sistemi dengeli bir şekilde referansa yaklaştırdığı, fakat sistemin referansa oturma zamanını çok uzattığı görülmüştür. Manuel ayarlama ile bulunan değer ise sistemin oturma zamanını oldukça düşürdüğü ama sistem referansa yaklaşınca da dengede tutamadığı görülmüştür. Deneyler sonucunda, bu iki değer arasında değişen integral katsayısı ile

sistemin kontrolünün daha düzgün yapılabildiği saptanmıştır. Sonuç olarak sistemde etkilenen giriş referansa yaklaştıkça, integral katsayısı da manuel ayarlama ile bulunan değerden Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan değere doğru artmakta ve sistem Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunan integral katsayı değeriyle dengede kalabilmektedir.

Deneyel araç olarak kullanılan proses kontrol sisteminden elde edilen bilgiler endüstriyel proses kontrol sistemleri üzerine uygulanabilir. Mevcut sistemin daha hızlı referans değerine gelmesini sağlayacak, örneğin pompa motorunun debisinin artırılması gibi, iyileştirmeler yapılabilir ve MIMO sistemlerde etkileşimi yok etmek için geliştirilecek yeni kontrol tekniklerinden elde edilecek sonuçlar karşılaştırılabilir.

5 Referanslar

- [1] Tham, M.T., Multivariable Control: An Introduction To Decoupling Control, Department of Chemical Process Engineering University of Newcastle upon Tyne Course Notes, 1999, 1
- [2] Kaplanoğlu E., Çok Girişli Çok Çıkışlı Kısıtlamalı Sistemlerin Öngörülü Kontrol Uygulamaları, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2006, 1
- [3] Yüksel, İ. Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri; 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Türkiye, 2006; 236-240
- [4] Wang, Q.-G.; Huang B.; Guo X., Auto-tuning of TITO Decoupling Controllers from step tests, ISA Transactions. 2000; 39, 407-418
- [5] Gilbert, A.F.; Yousef A.; Natarajan K.; Deighton S. Tuning of PI controllers with one-way decoupling in 2x2 MIMO systems based on finite frequency response data, Journal of Proses Control. 2003; 13, 553-567
- [6] Vrančić, D., Design of MIMO Controllers with Inverted Decoupling, 8th Asian Control Conference (ASCC), Kaohsiung, Taiwan, 1153-1158, 2011.
- [7] Zhai L.; Chai, T., Intelligent Decoupling PID Control of a Class of Complex Industrial Processes, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, China, 2006, 4827-4832
- [8] Process automation MPS® PA Compact Workstation Manual, FESTO

[9] National Instrument Compact FieldPoint Real-Time Controllers Datasheet

[10] Li, Y.; Ang, K.H.; Chong, G. C. Y., PID Control System Analysis and Design, *IEEE Control Systems*, 2006; 26(1), 32-41.

[11] Lin J-M.; Lin C-H., A Novel Fuel Cell System Design By Using Ziegler-Nichols-Based Intelligent Fuzzy Controller, *International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, Tianjin, China, 1268-1271, 2013.

[12] Ziegler, J. G.; Nichols, N. B., Optimum Settings for Automatic Controllers, *Transactions of the A.S.M.E*, 1942, 64, 759-768.

[13] Chen Y.; Hu T.; Wen K.; Yang T., An Improvement of Computational Verb PID Controllers, *IEEE International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID)*, Shanghai, China, 1-5, 2013.