

İkili Tank Sıvı-Seviye Sisteminin PI ve Geri Adımlamalı Kontrol Yöntemleri ile Kontrolü ve Performans Analizi

The Performance Analyze and Control of a Coupled Tank Liquid-Level System via PI & Backstepping Controllers

Hayriye Tuğba Sekban, Kaan Can, Abdullah Başçı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Atatürk Üniversitesi, Erzurum
abasci@atauni.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, ikili tank sıvı seviye sistemine geri adımlamalı (GA) ve basit yapısı nedeniyle kullanımı kolay olan klasik PI kontrolcü yöntemleri uygulanmış ve gerçek zamanlı olarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Sisteme uygulanan farklı referans işaretlerinin her bir kontrolör tarafından gerçekleştirilen takip performansı, referans işareti yakalama başarısı ve sistemde meydana gelen hataları elimine edebilme başarımı ve kararlılık analizleri incelenmiştir. Uygulama sonuçları GA kontrolcünün PI kontrolcüye oranla referans takip başarımı ve hata eliminasyonu açısından daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Abstract

In this study, Backstepping and conventional PI controllers are applied to the coupled tank liquid level system and the controller performances are analyzed in real-time application. For different reference signals applied to the system, controllers' performances are examined in terms of their tracking performance, error elimination capability occurred in the system and stability analyzes. The experimental results indicate that Backstepping controller is better than PI controller in terms of their reference tracking successes and error elimination performances.

1. Giriş

Proses endüstrisinin temel problemlerden biri tanklar arası sıvı akış durumunda meydana gelen bozukluklardır. Sıvı akış hızında meydana gelen değişimler, akışı sağlayan hatların sonlarındaki düzensiz sıvı çıkışları ve tankların birbirleri ile olan karmaşık bağlantıları gibi problemler bu tip sistemlerin lineer olmayan davranışlar sergilemesine neden olmakta ve kontrol edilmelerini zorlaştırmaktadır. Enerji santralleri, gıda endüstrisi, su arıtma sistemleri vb. sanayi alanlarında yoğunlukla kullanılan sıvı seviye sistemleri, gelişen hassas ve dayanıklı sistemler ile günümüzde uygulaması kolaylaşmış bir endüstri alanı olmuştur. Belirtilen problemlerin aşılmasında tasarlanan çeşitli kontrol yöntemleri etkili olmuş lineer olmayan sistemlerin kontrolünü de kolaylaştırmıştır. Lineer olmayan kontrol yöntemleri ile sistem dinamiklerinde meydana gelen değişimlere hızlı cevap verilmekte ve parametre belirsizliklerine karşı gürbüzlük sağlanabilmektedir. Yapılan literatür taramaları ile çeşitli kontrol yöntemleri kullanılarak tank sisteminin kontrolü gerçekleştirildiği görülmektedir. İlk

olarak, tanklar arası sıvı seviye kontrolünü gerçekleştirmek için tasarımı oldukça basit, güvenilir ve parametre uyarlaması kolay olan P, PI ve PID kontrolörler kullanılmıştır [1-2]. Fakat sabit parametrelere sahip bu tip kontrolcüler, sistemde meydana gelen hataları elimine etmekte yetersiz kalmakta ve değişen koşullara kendilerini uyarlayamadıkları için lineer olmayan sistemlerin kontrolü için uygun olmamaktadırlar. Bu nedenle sistemin doğrusal olmayan yapısı ve parametre belirsizliklerine karşı yüksek doğruluklu lineer olmayan kontrol yöntemleri olan bulanık mantık, adaptif kontrol, kayan kipli ve geri adımlamalı kontrol yöntemleri kullanılarak sıvı seviye kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık kontrol yöntemi, bir sistemin tam olarak modellenemediği durumlarda belirli bir doğruluk tablosu üzerinden sistemin çalışmasını sağlamaktadır [3-4]. Kayan kipli kontrol yöntemi, tasarımının kolay olması, sağlam bir kontrol tekniği olması, yüksek doğrulukta çalışması, sistem belirsizliklerine ve harici bozuculara karşı kararlı bir kontrol sağlamasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [5-9]. Adaptif kontrol, sistem parametrelerindeki değişimleri sistem dinamiklerinin ihtiyacı doğrultusunda güncellemekte ve parametre uyarlamasını gerçekleştirmektedir [10-11]. Geri adımlamalı kontrol yöntemi, durum denklemlerinin adım adım incelenerek tasarlanması, denklemlerinin kolay ifade edilmesi, kararlılık analizinin gerçekleştirilebilmesi ve yinelemeli yapısı gibi avantajlarından dolayı lineer olmayan sistemlerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [12-14].

Bu çalışmada sabit parametre değerlerine sahip PI kontrolcü ve sistemin yapısına uygun olarak tasarlanan geri adımlamalı kontrolcü çeşitli referans işaretleri için hem tank 1 hem de tank 2 için ayrı ayrı test edilmiştir ve kontrolcü performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda geri adımlamalı kontrolcünün PI kontrolcüsüne oranla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

2. Sıvı Tank Sisteminin Modellenmesi ve Kontrolü

Su seviye kontrol sistemi için kullanılan sistem genel olarak bir pompa, su havuzu ve iki adet su tankından oluşmaktadır. Üst kısımda yer alan tank 1 pompa aracılığıyla doldurulur. Alt kısımda yer alan tank 2'in doldurulması tank 1 vasıtasıyla olmaktadır. Sıvı seviye kontrolü iki aşamalı yapılabileceği gibi tek aşamalı olarak da gerçekleştirilebilir.

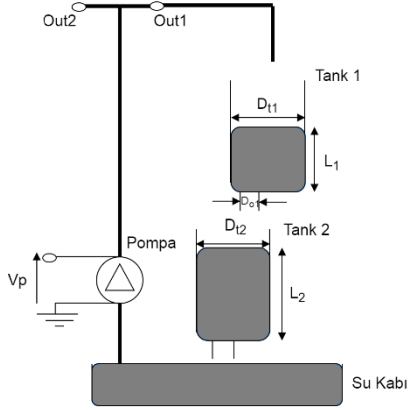
2.1. Tek Tank Modeli

Tek tank modeli Şekil 1’de gösterilen ikili tank sisteminde üst kısımda yer alan tank için geçerlidir. Burada tank 1’in içindeki sıvı seviyesi kontrolü sadece pompa aracılığıyla olmaktadır. Tek tank modelinde tank 2 hesaba katılmaz. Proses girişi pompa voltajı, çıkışı ise tank 1’in sıvı seviyesidir. Tek tank sisteminin matematiksel modeli tank 1’e giren sıvının hacimsel akış oranı f_{i1} ve tank 1’i terk eden sıvının hacimsel akış oranına f_{o1} bağlıdır. Tank 1 için giren ve çıkan sıvının hacimsel akış oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir [15].

$$f_{i1} = KpVp \quad (1)$$

$$f_{o1} = A_{o1}V_{o1} \quad (2)$$

A_{o1} sıvı akış yolunun kesit alanı cm^2 , V_{o1} suyun tank 1 dışına çıkış hızı (cm/s), Kp pompa debi sabiti ($cm^3/s/V$), Vp pompaya uygulanan gerçek gerilimdir (volt).



Şekil 1: Tek tank modeli.

Çıkış akış hızı Bernoulli denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_{o1} = \sqrt{2\sqrt{gL_1}} \quad (3)$$

Denklemden yer alan g yerçekimi sabitidir. Tank 1 için sıvı çıkış yolunun kesit alanı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$A_{o1} = \frac{1}{4}\pi D_{o1}^2 \quad (4)$$

D_{o1} tank 1 sıvı çıkış yolu çapını göstermektedir. Bu ifadeler denklem (12)’de yazılırsa sıvı akış oranı aşağıdaki gibi edilir.

$$f_{o1} = A_{o1}\sqrt{2\sqrt{gL_1}} \quad (5)$$

Kütle korunum prensibi kullanılarak L_1 için birinci dereceden diferansiyel denklem aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A_{t1}\left(\frac{dL_1}{dt}\right) = f_{i1} - f_{o1} \quad (6)$$

A_{t1} tank 1 iç kesit alanı olup tank 1 aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{dL_1}{dt} = \frac{KpVp - A_{o1}\sqrt{2\sqrt{gL_1}}}{A_{t1}} \quad (7)$$

2.3 İkili Tank Modeli

İkili tank modelinde sistem durumları tank 1 için L_1 ve tank 2 için L_2 sıvı seviyeleridir. Tank 2 için sıvı çıkış akış oranı,

$$f_{o2} = A_{o2}V_{o2} \quad (8)$$

ile gösterilir. Tank 2 sıvı çıkış akış hızı Bernoulli denklemi kullanılarak hesaplanır ise,

$$V_{o2} = \sqrt{2\sqrt{gL_2}} \quad (9)$$

denklemini elde edilir. Tank 2 sıvı çıkış yolu kesit alanı,

$$A_{o2} = \frac{1}{4}\pi D_{o2}^2 \quad (10)$$

ile hesaplanır ve bu denklem (8)’de yeniden yazılır ise,

$$f_{o2} = A_{o2}\sqrt{2\sqrt{gL_2}} \quad (11)$$

denklemini elde edilir. Tank 2 ‘ye giren sıvı akış oranı,

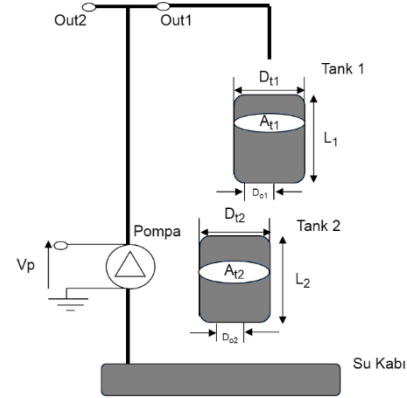
$$f_{i2} = A_{o1}\sqrt{2\sqrt{gL_1}} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Kütle korunumu prensibi tank 2 için yazılırsa L_2 için birinci dereceden diferansiyel denklem elde edilir.

$$A_{t2}\left(\frac{dL_2}{dt}\right) = f_{i2} - f_{o2} \quad (13)$$

Tank 2 için sistem modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

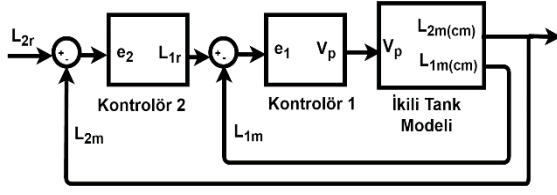
$$\frac{dL_2}{dt} = \frac{-A_{o2}\sqrt{2\sqrt{gL_2}} + A_{o1}\sqrt{2\sqrt{gL_1}}}{A_{t2}} \quad (14)$$



Şekil 2: İkili tank modeli.

3. Kontrol Yöntemleri

İkili tank sisteminin genel kontrol yapısı Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi biri tank 1’in sıvı seviye referansını diğeri de tank 1’in tank 2’yi besleyecek sıvı seviyesini sağlamak için pompaya gerekli voltaj gerilimini üreten iki kontrolcü kullanılmıştır.



Şekil 3: İkili tank modelinin kontrol algoritması.

3.1. PI Kontrol

İkili tank sıvı seviye kontrolü için tasarlanan PI kontrolcünün sahip olduğu parametre değerleri sisteme uygulanan referans işaretini başarıyla takip etmesi için deneme-yanılma yöntemiyle ayarlanmıştır. Sistemde meydana gelen hata sinyalleri tank 1 ve tank 2 için sırasıyla;

$$e_1(t) = L_{1r}(t) - L_{1m}(t) \quad (15)$$

$$e_2(t) = L_{2r}(t) - L_{2m}(t) \quad (16)$$

olarak ifade edilebilir. Buradan sistem için gerekli olan pompa voltajı ise;

$$L_{1r} = K_p e_2(t) + K_i \int_0^t e_2(t) dt \quad (17)$$

$$V_p = K_p e_1(t) + K_i \int_0^t e_1(t) dt \quad (18)$$

elde edilir.

3.2. Geri Adımlamalı Kontrol

Geri adımlamalı kontrol yöntemi, bir kararlılık analizi yöntemi olan Lyapunov kararlılık teorisine dayanmaktadır. Bu kontrol yönteminde amaç, durum denklemlerinin her bir adımda birbirini kararlı hale getirerek sistemin ihtiyacı olan kontrol işaretini elde etmeye dayanmaktadır. Bu sayede her adımda stabilizasyonu sağlanan durum değişkenleri sistemi otomatik olarak kararlı bir yapıya ulaştırdığı için elde edilen kontrol işareti de sistemi kararlı hale getirmektedir. Geri adımlamalı kontrol yöntemi referans işareti ile ikili tank sisteminin çıkışından ölçülen değer arasında oluşan hataları elimine ederek sistemi referansı takip etmeye zorlamaktadır.

3.2.1. Tank 1 için GA kontrolcü tasarımı

İlk önce üst kısımda bulunan tank 1 için $L_1 = x_1$ ve $L_2 = x_2$ olarak ele alınırsa [16];

$$\dot{x}_2 = \frac{A_{01}\sqrt{2g}\sqrt{x_1} - A_{02}\sqrt{2g}\sqrt{x_2}}{A_{t2}} \quad (19)$$

$$\dot{x}_1 = \frac{-A_{01}\sqrt{2g}\sqrt{x_1} + k_p u}{A_{t1}} \quad (20)$$

$$y = k_s x_1 \quad (21)$$

denklem takımları elde edilir. Burada k_s ve k_p sırasıyla sensör ve pompa kazançlarıdır. Bu sayede geri adımlamalı

kontrol yöntemi için denklemler kolaylıkla ifade edilebilir. Durum denklemlerinde bulunan sabit katsayılar ise;

$$\beta_1 = \frac{A_{01}\sqrt{2g}}{A_{t1}} \quad ; \quad \beta_2 = \frac{A_{02}\sqrt{2g}}{A_{t2}} \quad ; \quad k_a = \frac{k_p}{A_{t1}} \quad (22)$$

ile ifade edersek yeni durum denklemleri;

$$\dot{x}_2 = f_2(x) = \beta_1\sqrt{x_1} - \beta_2\sqrt{x_2} \quad (23)$$

$$\dot{x}_1 = f_1(x) + g_1(x_1)u = \beta_1\sqrt{x_1} + k_a u \quad (24)$$

şeklinde yazılabilir. İkili tank sistemi için denklem (19) ve denklem (20)'de elde edilen sistemin durumları kontrolcü tasarımı için yeniden yazılır ise;

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)u \quad (25)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_2) + g_2(x_2)x_1 \quad (26)$$

denklemleri elde edilir. Burada x_1 sanal kontrol işareti ve $y_m = x_{1d}$ olarak ifade edilir ise sistemde meydana gelen hata ve hatanın zamanla değişimi;

$$e_2 = x_2 - x_{2d} \quad (27)$$

$$\dot{e}_2 = \dot{x}_2 - \dot{x}_{2d} \quad (28)$$

denklemleri ile elde edilir. Daha sonra uygun Lyapunov fonksiyonu denklem (29)'daki gibi seçilir ise;

$$V_2(e_2) = \frac{1}{2} e_2^2 \quad (29)$$

ve denklem (29)'da belirtilen fonksiyonun zamana göre türevi alınır ise;

$$\dot{V}_2(e_2) = e_2 \dot{e}_2 \quad (30)$$

ifadesi edilir. Hatanın türevinden yola çıkarak denklem (30) tekrar yazılır ise;

$$\dot{V}_2(e_2) = e_2 [f_2(x_2) + g_2(x_2)x_1 - \dot{x}_{2d}] \quad (31)$$

denklemini elde edilir. Burada amaç kararlılık analizi için incelenen hata fonksiyonuna uygun olarak seçilen Lyapunov fonksiyonu üzerinden zamanla değişiminin sıfıra gittiğini göstererek sistemin asimtotik kararlılığını ispatlamaktır. Denklem (31)'i kararlılığa götürmek için;

$$f_2(x_2) + g_2(x_2)x_1 - \dot{x}_{2d} = -K_2 e_2 \quad (32)$$

ifadesi seçilir ve $K_2 > 0$ alınır ise;

$$\dot{V}_2(e_2) = -K_2 e_2^2 \leq 0 \quad (33)$$

olur. Sistemde oluşturulan sanal kontrol işareti denklem (32)'den çekilir ise;

$$x_{1d} = \frac{1}{g_2(x_2)} [-f_2(x_2) + \dot{x}_{2d} - K_2 e_2] \quad (34)$$

denklemini elde edilir. Sistemde meydana gelen diğer hata için denklem (27)'de belirtilen hata fonksiyonuna uygulanan işlemler gerçekleştirilir ise;

$$e_1 = x_1 - x_{1d} \quad (35)$$

yazılabilir. Buradan uygun Lyapunov denklemi yazılır ise;

$$V_1(e_1, e_2) = V_2(e_2) + \frac{1}{2}e_1^2 \quad (36)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (36)'da belirtilen Lyapunov fonksiyonu çözüldüğünde, tank 1 için gerekli olan kontrolcü işareti ve kararlılık ispatı denklem (37) ve denklem (38)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$u = \frac{1}{g_1(x_1)}(-K_1 e_1 + \dot{x}_{1d} - g_2(x_2)e_2 - f_1(x_1)) \quad (37)$$

$$\dot{V}_1(e_1, e_2) = -K_1 e_1^2 - K_2 e_2^2 \leq 0 \quad (38)$$

Burada $K_1 > 0$ 'dır.

3.2.2. Tank 2 için GA kontrolcü tasarımı

Sistemin durum denklemlerini rotasyon olarak düzenlemek için $L_1 = x_2$ ve $L_2 = x_1$ olarak ele alırsak;

$$\dot{x}_1 = \frac{A_{01}\sqrt{2g}\sqrt{x_2} - A_{02}\sqrt{2g}\sqrt{x_1}}{A_{t2}} \quad (39)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{-A_{01}\sqrt{2g}\sqrt{x_2} + k_p u}{A_{t1}} \quad (40)$$

$$y = k_s x_1 \quad (41)$$

denklem takımları elde edilir. Burada k_s ve k_p sırasıyla sensör ve pompa kazançlarıdır. Bu sayede geri adımlamalı kontrol yöntemi için denklemler kolaylıkla ifade edilebilir. Durum denklemlerinde bulunan sabit katsayılar ise;

$$\beta_1 = \frac{A_{01}\sqrt{2g}}{A_{t1}} ; \beta_2 = \frac{A_{02}\sqrt{2g}}{A_{t2}} ; k_a = \frac{k_p}{A_{t1}} \quad (42)$$

ifade edilirse yeni durum denklemleri;

$$\dot{x}_1 = f_1(x) = \beta_1\sqrt{x_2} - \beta_2\sqrt{x_1} \quad (43)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x) + g_2(x_2)u = -\beta_1\sqrt{x_2} + k_a u \quad (44)$$

yazılabilir. İkili tank sistemi için denklem (43) ve denklem (44)'te elde edilen sistemin durumları kontrolcü tasarımı için;

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \quad (45)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_2) + g_2(x_2)u \quad (46)$$

tekrar yazılır. Burada x_2 sanal kontrol işareti ve $y_m = x_{1d}$ olarak ifade edilirse sistemde meydana gelen hata ve hatanın zamanla değişimi;

$$e_1 = x_1 - x_{1d} \quad (47)$$

$$\dot{e}_1 = \dot{x}_1 - \dot{x}_{1d} \quad (48)$$

olarak bulunur. Daha sonra uygun Lyapunov fonksiyonu seçilir ise;

$$V_1(e_1) = \frac{1}{2}e_1^2 \quad (49)$$

yazılabilir. Denklem (49)'da belirtilen fonksiyonun zamana göre türevi alındığında;

$$\dot{V}_1(e_1) = e_1 \dot{e}_1 \quad (50)$$

olarak ifade edilir. Hatanın türevinden yola çıkarak denklem (50) tekrar yazılır ise;

$$\dot{V}_1(e_1) = e_1[f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 - \dot{x}_{1d}] \quad (51)$$

elde edilir. Burada amaç kararlılık analizi için incelenen hata fonksiyonunun, uygun olarak seçilen Lyapunov fonksiyonu üzerinden zamanla değişiminin sıfıra gittiğini göstererek sistemin asimtotik kararlılığını ispatlamaktır. Denklem (51)'i kararlılığa götürmek için;

$$f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 - \dot{x}_{1d} = -K_1 e_1 \quad (52)$$

seçilir ve $K_1 > 0$ şeklinde ifade edilir ise;

$$\dot{V}_1(e_1) = -K_1 e_1^2 \leq 0 \quad (53)$$

olur. Sistemde oluşturulan sanal kontrol işareti denklem (52)'den çekilir ise;

$$x_{2d} = \frac{1}{g_1(x_1)}[-f_1(x_1) + \dot{x}_{1d} - K_1 e_1] \quad (54)$$

elde edilir. Sistemde meydana gelen diğer hata için denklem (47)'de belirtilen hata fonksiyonuna uygulanan işlemler gerçekleştirilir ise;

$$e_2 = x_2 - x_{2d} \quad (55)$$

yazılabilir. Buradan uygun Lyapunov denklemi yazılır ise;

$$V_2(e_1, e_2) = V_1(e_1) + \frac{1}{2}e_2^2 \quad (56)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (56)'da belirtilen Lyapunov fonksiyonu çözüldüğünde, tank 2 için gerekli olan kontrolcü işareti ve kararlılık ispatı denklem (57) ve denklem (58)'deki gibi ifade edilir.

$$u = \frac{1}{g_2(x_2)}(-K_2 e_2 + \dot{x}_{2d} - g_1(x_1)e_1 - f_2(x_2)) \quad (57)$$

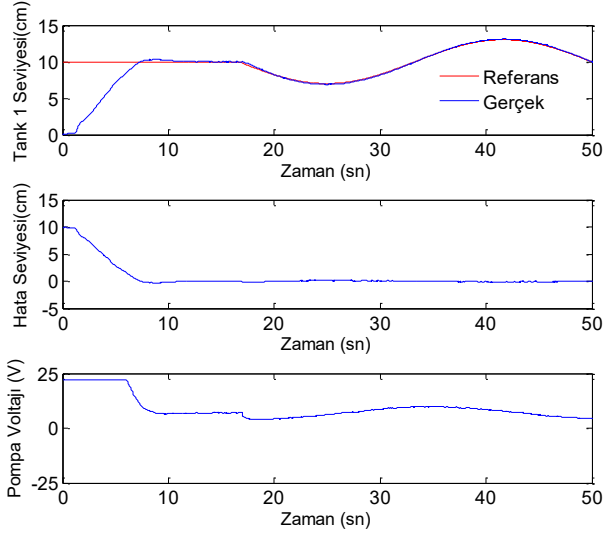
$$\dot{V}_2(e_1, e_2) = -K_1 e_1^2 - K_2 e_2^2 \leq 0 \quad (58)$$

Burada $K_2 > 0$ 'dır.

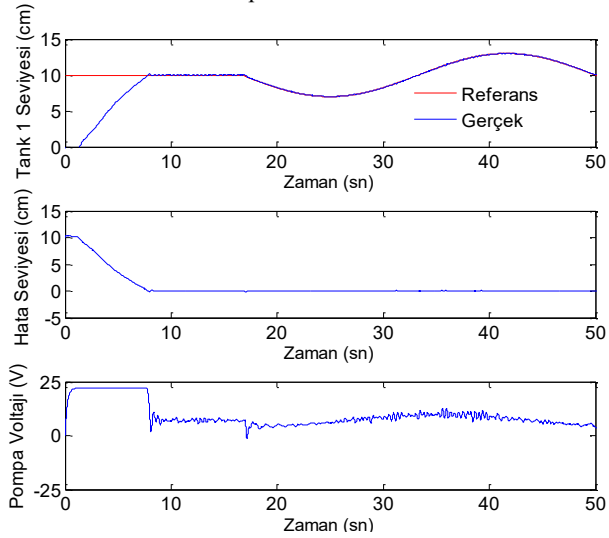
4. Deneyisel çalışma

İkili tank sıvı sisteminin kontrolü sırasıyla tank 1 ve tank 2 için gerçekleştirilmiştir. Tanklardaki sıvıların seviye kontrolünü gerçekleştirmek için uygulanan PI kontrolcünün parametreleri deneme - yanılma yöntemiyle uyarlanmış ve GA kontrol yöntemi ile performans açısından kıyaslanmıştır. İlk olarak tank 1'e sabit + sinüzoidal referans uygulanmış deneysel sonuçlar

Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 4'te PI kontrolcünün referansın sabit kısmında GA kontrolcüye göre daha uzun bir yükselme ve yerleşme zamanına sahip olduğu ve aşım yaptığı görülmektedir. Ayrıca referans işaretin zamanla değişimin görüldüğü sinüs işaretinde ise PI kontrolcünün referans işareti belli zamanlarda takip etmekte zorlandığı ve hafif sapmalar yaptığı görülmektedir. Şekil 5'te GA kontrolcü referans işaretin zamanla değişim gösteren kısmında başarılı bir takip gerçekleştirmiş ve istenilen sıvı seviyesini PI kontrolcüye oranla daha başarılı şekilde gerçekleştirmiştir.



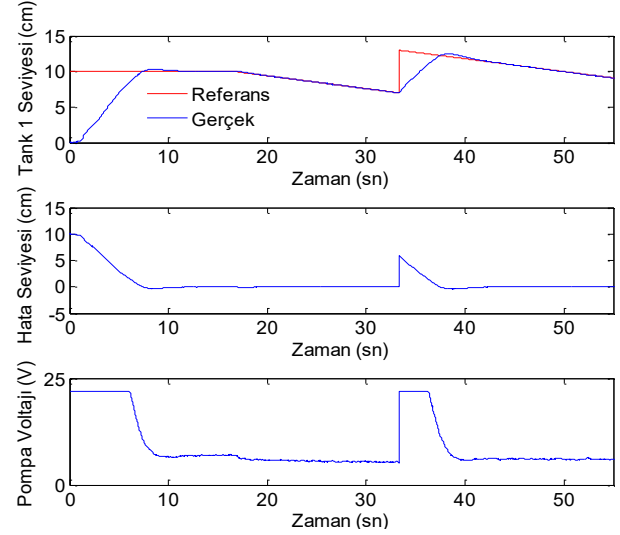
Şekil 4: Tank 1 için sabit + sinüs referans altında PI kontrolcü performansı.



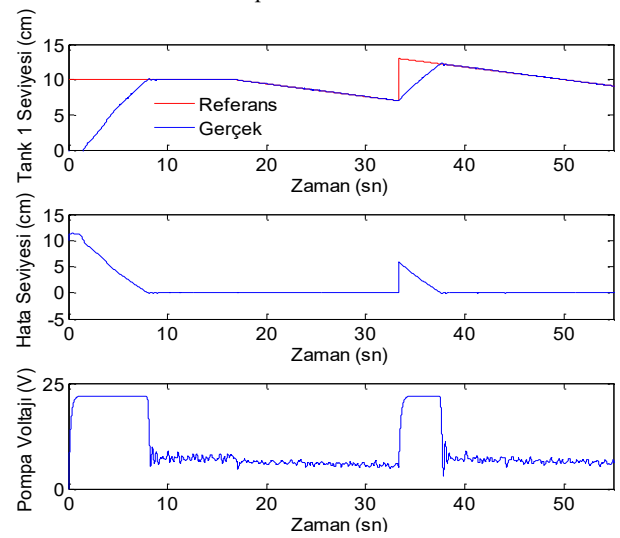
Şekil 5: Tank 1 için sabit + sinüs referans altında GA kontrolcü performansı.

İkinci olarak, tank 1'in kontrolü için sabit + testere referansı uygulanmıştır. PI kontrolcü için Şekil 6'da verilen deneysel sonuçlar incelendiğinde, referans işaretin sabit kısmında hafif aşım yaparak oturduğu ve devamında takip hataları meydana geldiği görülmektedir. Şekil 7'de GA kontrolcünün referansın sabit kısmında PI kontrolcüye göre daha hızlı yükselerek referansı yakaladığı ve aşım gerçekleştirmede olduğu görülmektedir. Testere referansın ani değişim ve devamında sürekli değişim içeren bir işaret olmasından dolayı, kontrolcüler ani değişime

hızlı tepki göstermelidirler. GA kontrolcü, ani değişimden sonra hızlı tepki göstermiş PI kontrolcüsüne oranla daha kısa yükselme zamanına sahip olmuştur. Ayrıca, GA kontrolcü referansın sürekli değişim içeren kısmında başarılı takibini sürdürmüş PI kontrolcüsüne göre daha başarılı performans göstermiştir. PI kontrolcü ise, ani değişimden kaynaklanan kopmayı telafi etmekte zorlanmış, testere referansın sürekli değişim gösteren kısmında aşım yapmış ve devamında referans takibini hata ile gerçekleştirmiştir.

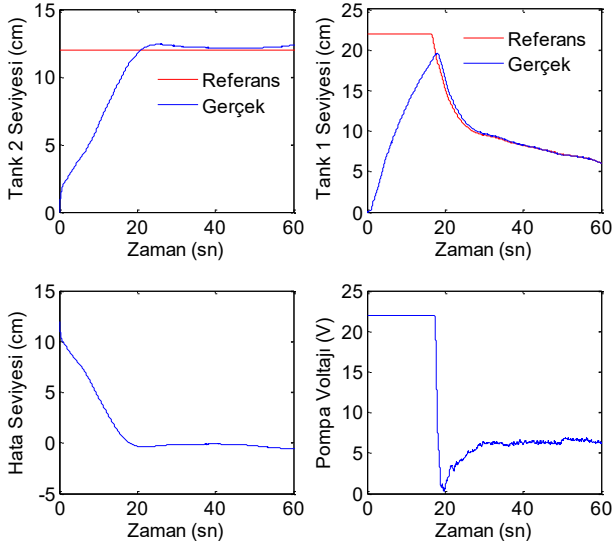


Şekil 6: Tank 1 için sabit + sinüs referans altında PI kontrolcü performansı.

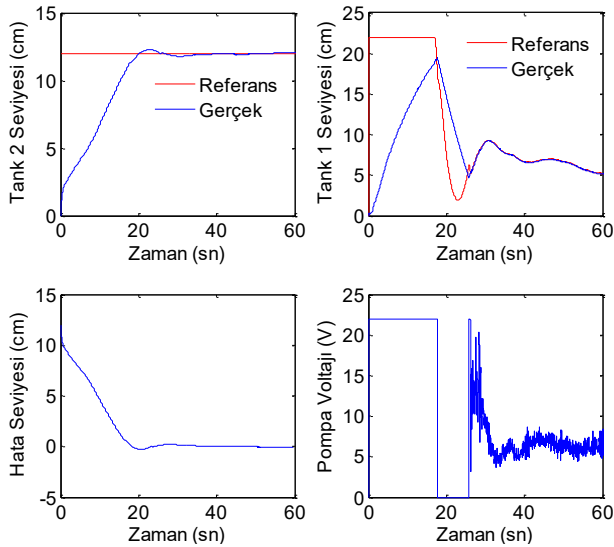


Şekil 7: Tank 1 için sabit + sinüs referans altında GA kontrolcü performansı.

Son olarak, Şekil 8 ve Şekil 9'da tank 2 için sabit referans işareti için kontrolcülerin deneysel sonuçları verilmiştir. Şekil 8 ve 9'dan PI kontrolcünün GA kontrolcü ile hemen hemen aynı yükselme zamanına sahip olduğu ancak referans işareti takip esnasında kararlı hal hatası meydana getirdiği görülmektedir. GA kontrolcü referans işareti yakaladıktan sonra hafif kopmalar yapmasına rağmen meydana gelen hatayı elimine etmeyi başarmış ve referans işareti PI kontrolcüsüne göre daha iyi takip etmiştir.



Şekil 8: Tank 2 için sabit referans altında PI kontrolcü performansı.



Şekil 9: Tank 2 için sabit referans altında GA kontrolcü performansı.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada GA ve PI kontrolcülerini ikili tank sıvı seviye sistemine farklı referans işaretleri için uygulanmış ve kontrolcü performansları incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, GA kontrolcünün geleneksel PI kontrolcüye oranla referans işareti takip başarımı, ani değişimlere hızlı tepkisi ve hata eliminasyonu açısından PI kontrolcüye oranla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Kaynakça

- [1] Ikhlef A., Kihel M., Boukhezzer B., Mansouri N. and Hobar F. "Online PID Control of Tank Level System ", *IEEE Global Engineering Education Conference*, 2016.
- [2] Samin E. R., Jie M. L. and Zawawi A. M., "PID Implementation of Heating Tank in Mini Automation Plant Using Programmable Logic Controller (PLC) ",

International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering, 2011.

- [3] Başçı A. and Derdiyok A., "Implementation of an Adaptive Fuzzy Compensator for Coupled Tank Liquid Level Control System", *Measurement*, vol.91., pp.12-18, 2016.
- [4] Jian-Jun Z., "Design of Fuzzy Control System for Tank Liquid Level Based on WinCC and Matlab", *13th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science*, 2014.
- [5] Başçı A. and Derdiyok A., "The Application of Chattering-free Sliding Mode Controller in Coupled Tank Liquid-level Control System", *Korean J. Chem.Eng.*, vol.30, pp.540-545, 2013.
- [6] B. Moshiri, M. Jalili-Kharaajoo, F. Besharati, "Application of fuzzy sliding mode based on genetic algorithms to control of robotic manipulators", *Emerging Technologies and Factory Automation*, vol. 2, pp. 169 – 172, 16-19,2003.
- [7] Almutairi N.B., Zribi M., "Sliding mode control of coupled tanks", *Mechatronics*, pp.427-441, 2006.
- [8] Utkin V. I., "Variable structure systems with sliding modes", *IEEE Transactions on Automatic Control*, pp.212-222, 1997.
- [9] Abbas H., Asghar S., Qamar S. , "Sliding mode control of coupled tank liquid level control system", *IEEE 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 2012.
- [10] Kubalcik M. and Bobal V., "Adaptive Control of Three – Tank – System: Comparison of Two Methods", *16th Mediterranean Conference on Control and Automation Congress Centre*, 2008.
- [11] Ravi V.R. and Thyagarajan T., "Application of Adaptive Control Technique to Interacting Non Linear Systems", *IEEE*, 2011.
- [12] Turki A., Said S.H., M'Sahli F., "Backstepping control for Two Tank Process based on Adaptive High Gain Observer", *SSD'14*, pp. 1-6, 2014.
- [13] Pan H., Wong H., Kapila V. and S.de Quieriroz M., "Experimental validation of a nonlinear backstepping liquid level controller for a state coupled two tank system ", *Control Engineering Practice*, vol.13, pp.27-40, 2005.
- [14] Calofir V., Tanasa V., Fagarasan I., Stamatescu I., Arghira N. and Stamatescu G., "A Backstepping control method for a nonlinear process- two coupled- tanks ", *CIEM* 2013.
- [15] Quanser-Two Tank Manuel, 2005.
- [16] Nail B., Bekhiti B., Hafaifa A., Kouzou A. and Hadroug N. "Feedback Linearizasyon and Backstepping Controlllers for Coupled Tanks" *Informatics Engineering, an International Journal (IEIJ)*, vol.3, no.4, 2015.