

DEĞİŞKEN HIZLI SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN GERÇEK-ZAMAN BENZETİMCİSİ KULLANARAK YAPAY SİNİR AĞLARI TEMELLİ DENETLEYİCİ TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

Savaş ŞAHİN*

Ege Üniversitesi, Ege Meslek
Yüksekokulu, Kontrol ve Otomasyon
Teknolojileri Programı, Bornova, İzmir
savas.sahin@ege.edu.tr

Orhan EKREN

Ege Üniversitesi, Ege Meslek
Yüksekokulu, İklimlendirme Soğutma
Programı, Bornova, İzmir
orhan.ekren@ege.edu.tr

Yalçın İŞLER

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi,
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İncivez, Zonguldak
islerya@yahoo.com

Cüneyt GÜZELİŞ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik ve
Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Buca, İzmir
cuneyt.guzelis@deu.edu.tr

ÖZET

Enerji verimliliği yüksek sistemlerin kullanımı, sürdürülebilir bir çevre ve enerji giderlerinde indirim sağlamak için günümüzde bir zorunluluk durumuna gelmiştir. İklimlendirme ve soğutma sistemleri incelendiğinde değişken hızlı soğutma sistemlerinin kullanım oranları yüksek enerji verimliliği sağladıkları için her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, kompresörü değişken hızlı soğutma sistemleri için bilimsel yazında kullanılanlardan farklı bir denetleyici algoritması uygulanmıştır. Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları (ÇKA-YSA)'na dayalı olarak gerçekleştirilen denetleyici, daha verimli bir soğutma sistemi elde etmek için kompresör hızının uygun biçimde ayarlanmasında kullanılmıştır. Önerilen ÇKA-YSA denetleyicinin benzetim çalışmaları ve başarımının sınanması, bir gerçek-zaman benzetimcisi olan denetleyici-tasarım-test-yeniden-tasarım platformunda gerçekleştirilmiştir. Gerçek-zaman benzetim platformu kullanılarak tasarlanan ÇKA-YSA denetleyici ile oransal-integral-türev denetleyiciler, gerçek bir sistem üzerinde enerji verimliliği ve başarım açılarından deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değişken hızlı soğutma sistemi, yapay sinir ağları, gerçek-zaman benzetimcisi, denetleyici tasarımı.

Design and Implementation of Artificial Neural Networks Controller Via a Real-Time Simulator For Variable Speed Refrigeration Systems

ABSTRACT

For a sustainable environment and energy cost reduction, high efficiency becomes a must in today energy systems. In recent years, the variable speed refrigeration systems has become more preferred, by the users, than other refrigerant systems. In this study, a control algorithm different from the ones in the literature is designed and tested for providing environment comforts in closed places where refrigerant is needed. The designed controller based on Multi-Layer Perceptron-Artificial Neural Networks (MLP-ANN) is used for controlling the compressor frequency of the variable speed refrigeration system to obtain more efficient refrigeration system. Implementation and performance test of the proposed MLP-ANN controller are realized in a real-time simulator, i.e. the controller-design-test-redesign-platform. The proposed controller designed in the real time simulator is compared to the conventional porportional-integral-derivative controller on a real refrigeration system in terms the energy efficiency and performance.

Keywords : Variable speed scroll compressor, artificial neural networks, real-time simulation, controller design

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 10.11.2009

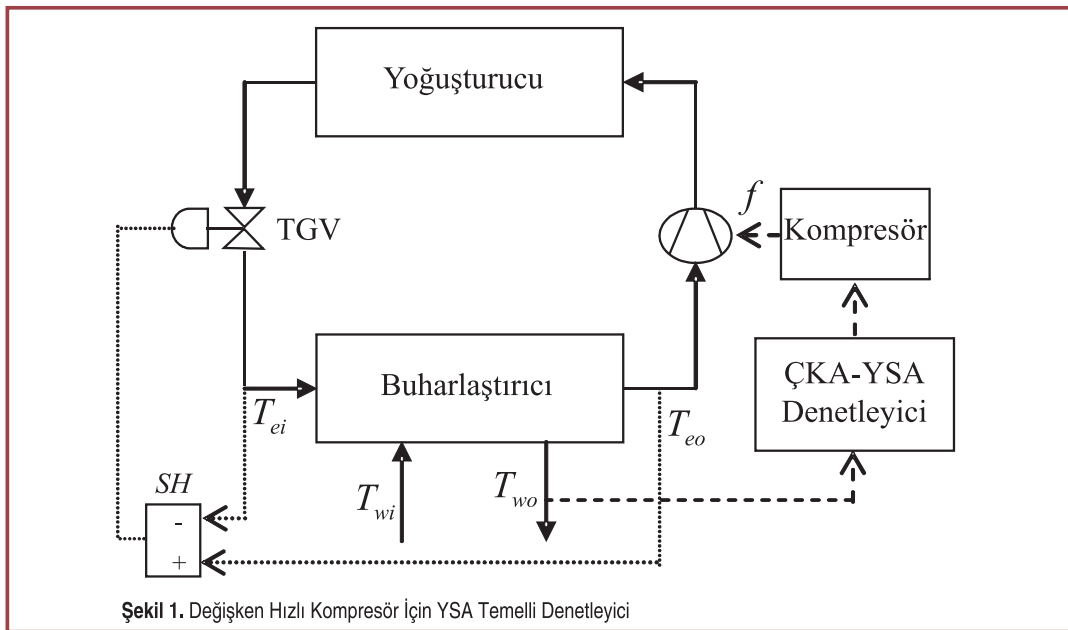
Kabul tarihi : 16.03.2010

GİRİŞ

Soğutma sistemleri buldukları bir ortamın ya da soğutma sistemindeki bir veya daha fazla akışkanın sıcaklığını arzu edilen sıcaklıklara getirmek üzere tasarlanan sistemlerdir. İşletme sırasında soğutma sisteminin yükü ile soğutma kapasitesinin eşitlendiği soğutma sistemleri daha verimli olmakta, gereğinden büyük sistem seçimini ve enerji tüketimini önlemektedirler. Değişken hızlı kompresöre sahip soğutma sistemleri yük ile soğutma kapasitesini eşit tutmaya çalışan en yaygın sistemlerdir. Bir soğutma sisteminin temel elemanları; kompresör, yoğuşurucu, buharlaştırıcı ve genişleme elemanlarıdır. Soğutma sisteminde dolaşan soğutucu akışkan (freon, amonyak, bütan ve benzeri.) kompresörde yüksek sıcaklık ve basınç kazanacak biçimde sıkıştırılır. Kompresörlerde sıkıştırma mekanizması olarak pistonlu, scroll ve vidalı olanlar oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklık ve basınçta kızgın buhar olarak kompresörü terk eden soğutucu yoğuşurucuya girer, burada sahip olduğu ısıyı atarak sıvı faza geçer. Yoğuşurucuda ısı atımı sıvıya ya da havaya olabilir. Yoğuşurucudan çıkan sıvı (soğutucu akışkan) genişleme elemanına girer ve burada basıncı düşürülerek buharlaştırıcıya gönderilir. Genleşme elemanı buharlaştırıcıya gönderilecek soğutucu akışkan miktarını ayarlar. En yaygın kullanılan genişleme elemanları, termostatik ve elektronik olarak iki tiptedir. Buharlaştırıcıda alçak basınç ve düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkan ısı alarak soğutma işlemini gerçekleştirir ve buhar faza geçer. Buharlaştırıcıda soğutulan akışkan; su, etilen glikol veya hava olabilir [1]. Bu çalışmada, buharlaştırıcıya gönderilecek soğutucu akışkan miktarını ayarlamak için Termostatik Genleşme Vanası (TGV) kullanılmıştır. TGV, sistemden

geçen soğutucu akışkanın miktarını sıcaklığa bağlı olarak vananın kendisinde bulunan oransal değişimli açıp kapama mekanizması ile bu denetimi gerçekleştirir. Soğutma sistemine ait diğer denetleme mekanizması kompresör olup, sistem içindeki soğutucu akışkanın debisini hız değişimi ile ayarlar. Değişken hızlı kompresör kullanımının sisteme olan etkisi göreceli olarak hızlıdır. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan miktarının değişimi, buharlaştırıcıda gerçekleşen soğutma miktarının değişmesine yol açar. Buharlaştırıcıda suyun soğutulduğu değişken hızlı mevcut sistemde amaç; kompresör frekansını (f), dolayısıyla hızını değiştirerek, gerçek su çıkış sıcaklığının (T_{wo}) istenen su çıkış sıcaklığına eşit olmasını sağlamaktır. Kompresör hızının artışı soğutma etkisini arttırmakta, azalması ise soğutma etkisini azaltmaktadır. Böylece soğutma sisteminde yük ile soğutma kapasitesi eşitlenerek daha verimli sistem elde edilmektedir. Değişken hızlı soğutma sistemleri için farklı denetleyici mekanizmaları bilimsel yazında yer almaktadır [2-6]. Soğutma sisteminin kompresör hızını değiştirmek için yaygın olarak kullanılan denetleyiciler aç/kapa, geleneksel Oransal-Integral-Türev (PID) veya bulanık mantık denetleyicileridir [5-7]. PID denetleyicilerin katsayıları Ziegler-Nicholas'ın sistem cevap eğrisi (sistem modeli ile bulunur) veya titreşim yöntemiyle bulunur [8, 9]. Bulanık mantık denetleyiciler ise, arzu edilen değer ile gerçek çıkış arasındaki hata üzerinden dilsel hesaplama denebilecek bir biçimde gerçekleştirilir [10]. Bilimsel yazında geçen diğer önemli bir denetleyici tasarım yöntemi ise, YSA tabanlı olanlardır. YSA'ların sistem üzerinden ölçülen verileri öğrenme, genelleme ve yorum yapabilme özellikleri nedeniyle sistem tanılama ve denetleyici tasarımı için yeğlenirler. Denetleyici sistem uygulamalarında yaygın olarak doğrusal olmayan ÇKA-YSA modeli kullanılmıştır. [11, 12].



Şekil 1. Değişken Hızlı Kompresör İçin YSA Temelli Denetleyici

Bu çalışmada, soğutma kapasitesi yaklaşık 3kW'lık bir Değişken Hızlı Soğutma Sisteminin (DHSS) kompresör hızını denetlemek için ÇKA-YSA tabanlı bir denetleyici tasarlanmıştır. İki aşamada gerçekleştirilen tasarımın birinci aşamasında, kompresör frekansı ile su çıkış sıcaklığı arasındaki giriş-çıkış ilişkisinden sistem tanımlama yapılarak denetlenecek sistemin modeli elde edilmiştir. İkinci aşamada, tanımlanmış sistem üzerinden ters sistem yaklaşımı kullanılarak, ters sistem ÇKA-YSA denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ÇKA-YSA denetleyici ve denetleyicinin uygulandığı (laboratuvar ortamında deneysel amaçlı olarak gerçekleştirilmiş olan) sanayi tipi gerçek soğutma sisteminin diğer birimleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sistemdeki değişken hızlı kompresör için tasarlanan ÇKA-YSA denetleyicinin sınaması, gerçek-zaman benzetim çalışmaları ile yapılmış ve deneysel sistem üzerinde denetleyicinin başarı ile çalıştığı gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmaları için gerçek-zaman benzetimlerini gerçekleştiren Denetleyici-Tasarım-Sınama-Yeniden tasarım-Platformu (DTSYP) kullanılmıştır [13]. Tasarlanan ÇKA-YSA denetleyicinin enerji tüketimi ve başarımına ilişkin deneysel sonuçları, bilimsel yazında iyi bilinen yöntemlerle tasarlanan [4-7] PID denetleyici deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Her iki denetleyici algoritması kişisel bilgisayar (AMD Athlon x2 işlemci ve 1GB RAM bellek) altyapısında MS Windows XP işletim sistemi üzerinde Matlab 7.04 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sistemin denetlenmesi seri bağlantı noktası ile yapılmıştır.

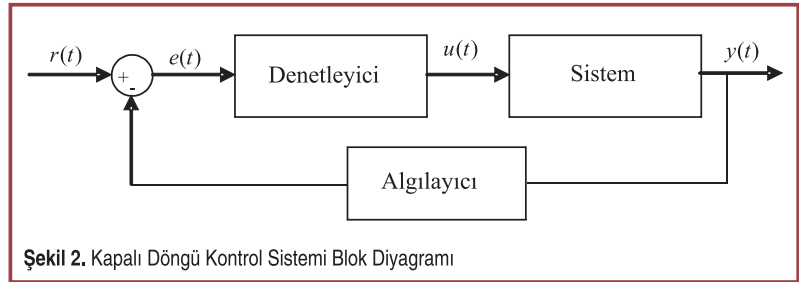
Erken'in [4] geçmiş bir çalışmasında, soğutma sisteminin kompresör hızı ve elektronik genleşme vanası denetimini yapmak için geleneksel PID, bulanık mantık ve YSA denetleyiciler kullanılmıştır. Kullanılan sisteme ait ölü zamanın yüksek olması nedeniyle ÇKA-YSA denetleyici ölü zaman kompanzasyonlu tasarlanmıştır. Deney sonuçlarından istenen su çıkış sıcaklığı için PID ve ÇKA-YSA denetleyici başarımları iyi, az enerji tüketimi başarımı için ÇKA-YSA'nın en iyi olduğu gözlenmiştir [4]. Bu çalışmada ise, termostatik genleşme vanası kullanılmış olup, kompresör hızı ölü zamanın ihmal edilebilecek mertebede düşük olması nedeniyle kompanzasyonsuz ters sistem ÇKA-YSA denetleyici ve geleneksel PID denetleyici için su çıkış sıcaklığı ve enerji tüketim başarımları karşılaştırılmıştır.

Yazının ikinci bölümünde kapalı döngü bir kontrol sistemi için ÇKA-YSA kullanılarak denetleyici tasarımı anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, önceki çalışmalarda geliştirilen gerçek-zaman benzetimcisi olan DTSYP platformunun benzetim çalışması sonuçları için kullanımı anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde, ÇKA-YSA temelli denetleyici için DHSS üzerinde benzetim çalışmaları ve deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen ÇKA-

YSA ve geleneksel PID denetleyicilerin deneysel sonuçları da enerji verimliliği ve başarımlar açısından karşılaştırılmıştır. Son bölümde, sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

TERS SİSTEM YAKLAŞIMINA DAYALI YAPAY SINIR AĞ DENETLEYİCİ TASARIMI

Kapalı döngü bir kontrol sisteminde, denetlenecek sistemin gerçek çıkışı algılayıcı üzerinden referans giriş ile karşılaştırılmak ve denetleyiciye hata olarak iletilmek üzere geri beslenir. İstenen çıkış (referans giriş) ile gerçek çıkış arasındaki hata işaretinin beslendiği denetleyici, çıkışında ürettiği denetleyici işareti yolu ile sistem çıkışını istenen çıkışa kenetlemek amacıyla sürer. İstenen çıkış $r(t)$, gerçek çıkış $y(t)$, hata işareti $e(t)$ ve denetim işareti $u(t)$ olmak üzere bir kapalı döngü denetim sisteminin blok diyagramı Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kapalı Döngü Kontrol Sistemi Blok Diyagramı

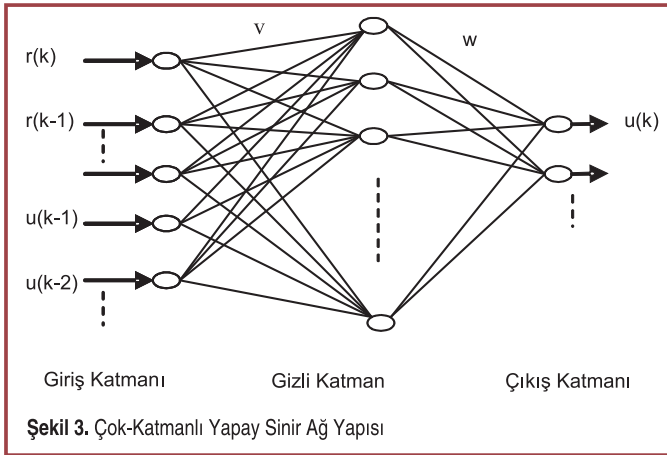
Bu çalışmada, ele alınan soğutma sisteminin denetlenmesi için ÇKA-YSA denetleyici tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar geleneksel PID denetleyicilerin verdiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

PID Denetleyici Tasarımı: PID denetleyici, ürettiği denetim işareti $u(t)$, oransal denetleme katsayısı K_p , integral denetim katsayısı K_i , türevsel denetim katsayısı K_d ve hata işareti $e(t)$ olmak üzere aşağıdaki giriş-çıkış ilişkisi ile tanımlanır.

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

PID denetleyicinin katsayılarını bulmak için bilimsel yazında birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada bilimsel yazında başarımlar açısından en iyi yöntemlerden birisi olarak bilinen Ziegler-Nicholos titreşim yöntemi kullanılmıştır. Titreşim yöntemi K_p (K_i ve K_d sıfır alınarak) kazancının yavaşça artırılarak, sistem çıkışı salınım periyodu ve en yüksek K_p kazancı ile bulunan PID katsayıları yöntemidir [8, 9].

ÇKA-YSA Denetleyici Tasarımı: Biyolojik sinir ağlarından esinlenerek geliştirilmiş olan YSA'larının en önemli özellikleri; örneklerden öğrenme ve öğrendiklerine dayalı olarak eğitim aşamasında kullanılmayan yeni girişlere karşı genelleme yolu ile istenen yanıtları verebilme yetenekleridir.



Veri-işaret-bilgi işleme gibi birçok uygulamada olduğu gibi denetim sistemi uygulamalarında da (sistem tanılama ve/veya denetleyici gibi) en yaygın kullanılan YSA modeli ÇKA-YSA'dır. ÇKA-YSA'nın her bir sinir hücresi bir önceki katmanda yer alan sinir hücrelerinin çıkışlarının (doğrusal) ağırlıklı cebrik bir toplamını aldıktan sonra toplam üzerine s-biçimli (sigmoid) bir doğrusal olmayan işlev uygulayarak elde ettiği çıkışı bir sonraki katmandaki hücelere giriş olarak uygular ya da çıkışı belirler (Bkz. Şekil-3).

ÇKA-YSA'ları cebrik modeller olmasına karşın, Şekil-3'te gösterildiği gibi girişlerine çıkışların birim gecikme elemanları üzerinden çıkışların zamanda geçmiş değerleri ($u(k)$, $u(k-1)$, ...) ve giriş işaretinin de geçmiş değerleri ($r(k)$, $r(k-1)$, ...) uygulandığında birim gecikme elemanları ile birlikte doğrusal olmayan bir ayrık-zaman dinamik sistemi tanımlar.

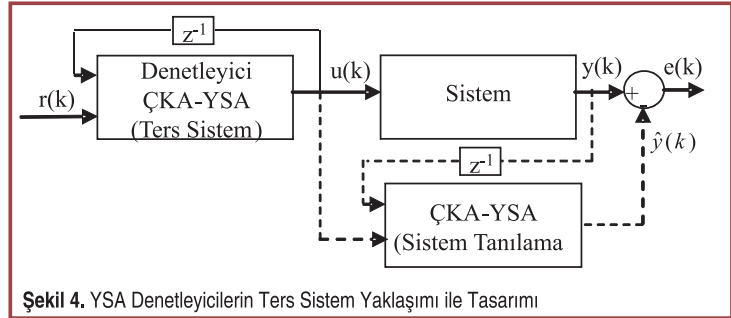
ÇKA-YSA'ların giriş katmanındaki sinir hücrelerinin sayısı modellenen sistemin veya denetleyicinin giriş ve gecikmiş çıkış sayısına göre, çıkış katmanındaki sinir hücreleri sayısı da benzer şekilde sistem ya da denetleyici çıkışlarının sayısına göre seçilirler [11]. Gizli katmandaki sinir hücresi sayısı ise sistemin doğrusal olmayan yapısına, gecikme elemanının sayısı ise dinamiklik derecesine bağlıdır ve çoğunlukla kullanıcı tarafından deneme-yanılma yöntemi ile bulunurlar.

ÇKA-YSA'ları tanımlayan parametreler olan v ve w bağlantı ağırlıkları; (giriş, istenen çıkış) eğitim çiftlerinin tanımladığı istenen çıkışlar ile ağına verdiği gerçek çıkış arasındaki hatayı en küçük yapacak biçimde uygulanan bir eğitici öğrenme algoritması ile belirlenir. Bu çalışmada, ÇKA-YSA'ların tasarımı için, yakınsama üstünlüğü dolayısıyla yığın-uyarlamalı (batch-mode adaptation) geriye-yayılım algoritması yeğlenmiştir [14].

YSA temelli denetleyici tasarımı için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi ters sistem (Inverse System) denetleyici yaklaşımıdır [15]. Ters sistem YSA denetleyici tasarımı; i) sistem tanılama ve ii) tanılanan sistem modelinin

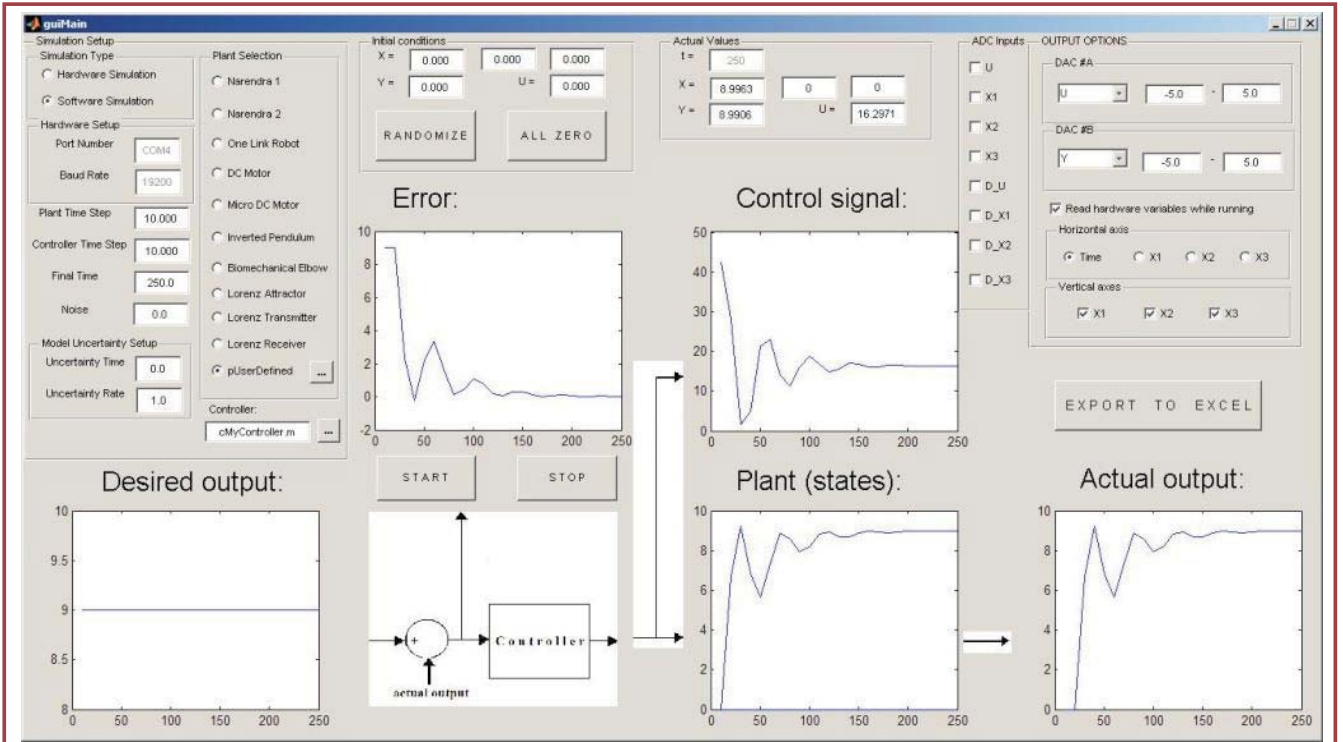
tersi olacak biçimde bir YSA denetleyicinin eğitimi olarak iki aşamadan oluşur:

- *Sistem Tanılama:* Sistemin (kara-kutu modeli) giriş-çıkış verilerine dayalı olarak sistemin giriş-çıkış ilişkisini açıklayan gerçekçi ve basit bir modelinin çıkartılması işlemine sistem tanılama denir [16]. Bu çalışmada, veri kayıt edici aracılığıyla, gerçek soğutma sistemindeki kompresörün hızı giriş, su sıcaklığı ise çıkış olmak üzere toplanan giriş-çıkış verileri bu alt sistemin tanılanması için seçilen ÇKA-YSA için eğitim kümesini oluşturur (Bkz. Şekil-4 kesikli çizgilerle gösterilen sistem modeli).
- *Ters Sistem Denetleyici:* Ters sistem denetleyici tasarımı, tanılanan sistem modeli olarak bulunan ÇKA-YSA'nın önüne (referans girişten sistem modeli çıkışına birim bir giriş-çıkış ilişkisi oluşturacak biçimde) konulan ÇKA-YSA denetleyicinin belirlenmesi işlemidir. Ters sistem denetleyici ÇKA-YSA'nın parametreleri, (ikincisinin tüm parametrelerinin bilindiği iki ÇKA-YSA'nın art arda bağlanmasından oluşmuş) kaskad sistemin istenen çıkışının referansa eşit alınarak ve ikinci ÇKA-YSA'nın bağlantı ağırlıklarının değiştirilmeye izin verilmeksizin geriye yayılım algoritmasının uygulanmasıyla bulunur.



DTSYP PLATFORMU İLE GERÇEK-ZAMAN BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bir denetleyicinin tasarım aşamasında, en önemli adımlardan biri tasarlanan denetleyicinin gerçek sisteme uygulanmadan önce sınanmasıdır [17]. Tasarlanan denetleyicinin, gerçek sistem üzerinde doğrudan sınanması öngörülemeyen problemlere yol açabilir ve sisteme zarar verebilir. Diğer yandan, gerçek-zaman olmayan benzetimler üzerindeki sınanmalar, denetleyicinin gerçek-zamandaki başarımı hakkında doğru olmayan çıkarsamalara ve hatalı denetleyici tasarımlarına neden olur, bu durum da denetleyicinin gerçek sistem üzerinde uygulanmasında belirtilen istenmeyen durumlara neden olabilir. Bu nedenlerden dolayı, tasarlanan denetleyiciler yazarların bir grubu tarafından yakın geçmişte geliştirilen bir gerçek-zaman denetleyici tasarım platformu olan DTSYP benzetimcisi [13] kullanılarak uygulama öncesinde gerçek-zamanda sınanmıştır. DTSYP platformu, Şekil 5'te görülen kullanıcı arayüzü ile denetleyicilerin sınanmasını kolaylaştırmış ve



Şekil 5. Denetleyici-Tasarım-Sinama-Yeniden Tasarım-Platformu

gerçek-zaman başarımını yansıtmaları açısından da etkin kılınmıştır.

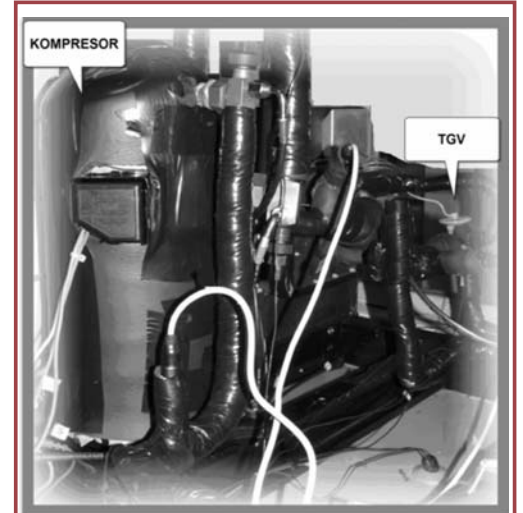
GERÇEK-ZAMAN BENZETİM ÇALIŞMALARINI VE DENEYSEL SONUÇLAR

Deney düzeneği 3kW soğutma kapasiteli bir sistemdir. Kullanılan soğutma kompresörü değişken devirli scroll tipte olup, yoğuşturucu için hava soğutmalı yapı kullanılmıştır. Su soğutma sisteminde su debisi $m=0.35$ kg/saniye sabit alınarak, su için ısı çifti bağlanmış ve sıcaklık ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 6'da ve teknik özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Gerçek-zaman benzetim çalışması ve deneysel sonuçların

Tablo 1. Deney Düzeneği Özellikleri

Eleman	Özellikler
Kompresör	Tip : Scroll (R134a soğutucu akışkanlı) Kapasite : 2.8 Hp
Yoğuşturucu	Tip : Hava soğutmalı
Buharlaştırıcı	Tip : Su soğutmalı
Genleşme elemanı	Termostatik
Sıcaklık ölçer	Tip : Isıl çift "T" Ölçüm aralığı : -200 ile 350°C Hata : $\pm\%1.5$
Güç ölçer	Ölçüm aralığı : 220/600 V, 50/60 Hz Hata : $\pm\%1$

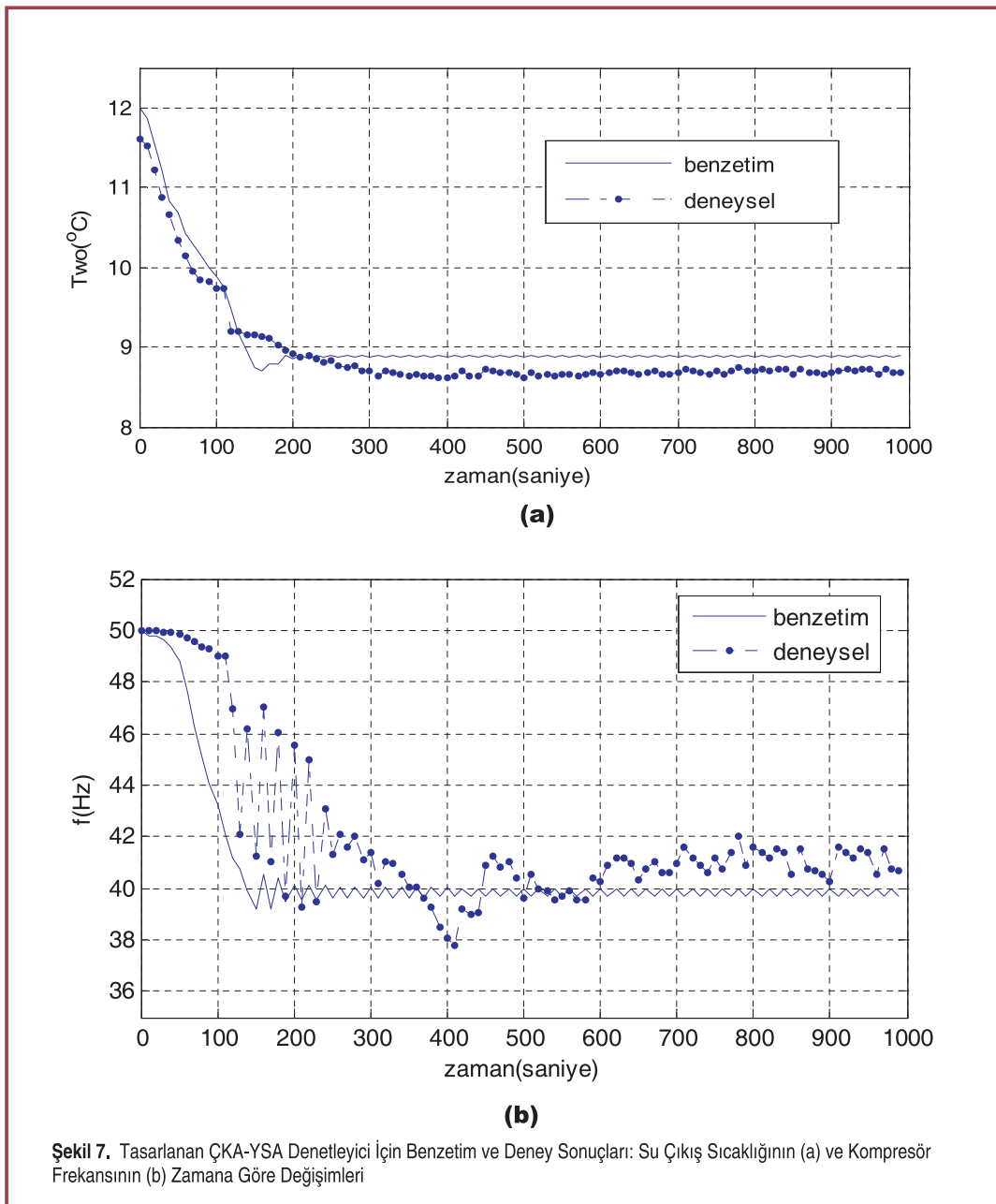


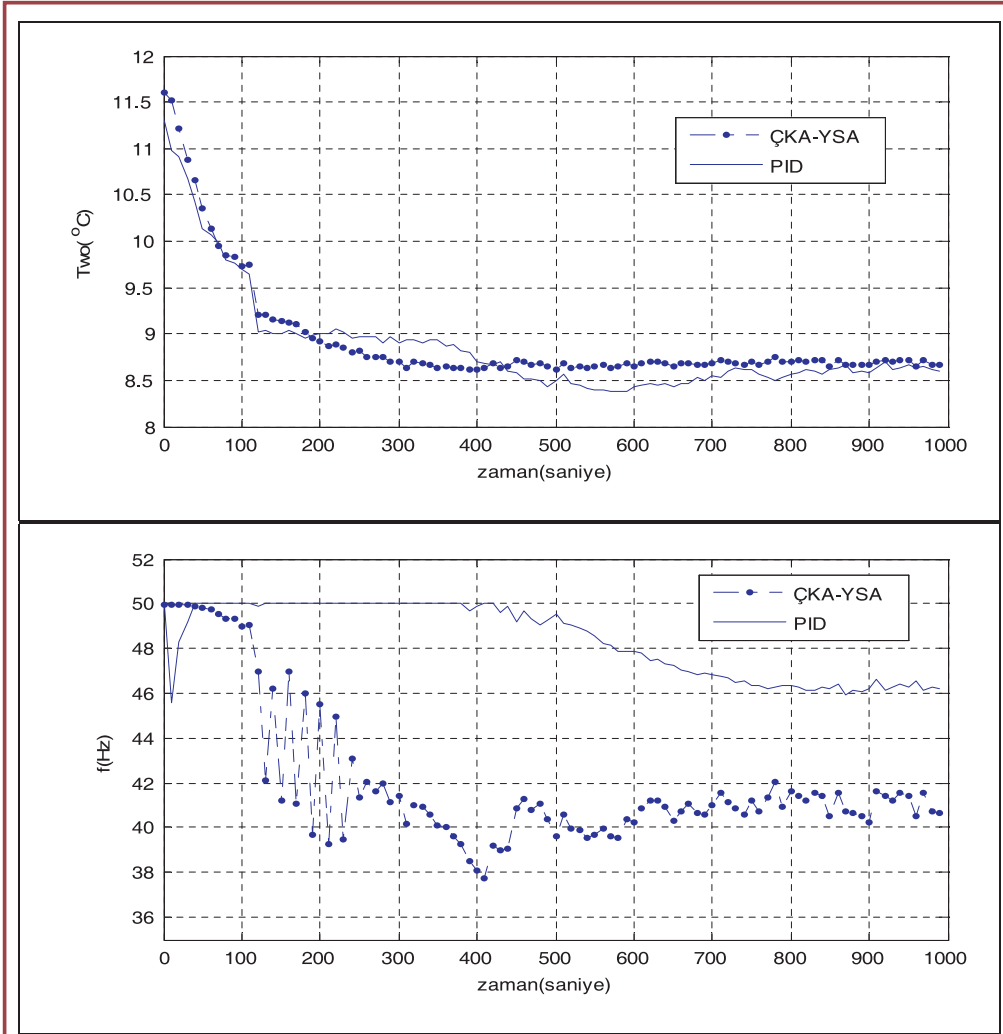
Şekil 6. Deney Düzeneği

karşılaştırılması: Değişken hızlı soğutma sistemi için tasarlanan ÇKA-YSA denetleyicisinin gerçek-zaman benzetim çalışmaları DTSYP platformu üzerinde yapılmıştır. Benzetim çalışması için gerekli olan denetleyici ve sistem zaman adım aralıkları, tanıma için kullanılan örnekleme zamanı ile aynı (10 saniye olarak) seçilmiştir. MATLAB ortamında tanımlanan sistem ve tasarlanan ÇKA-

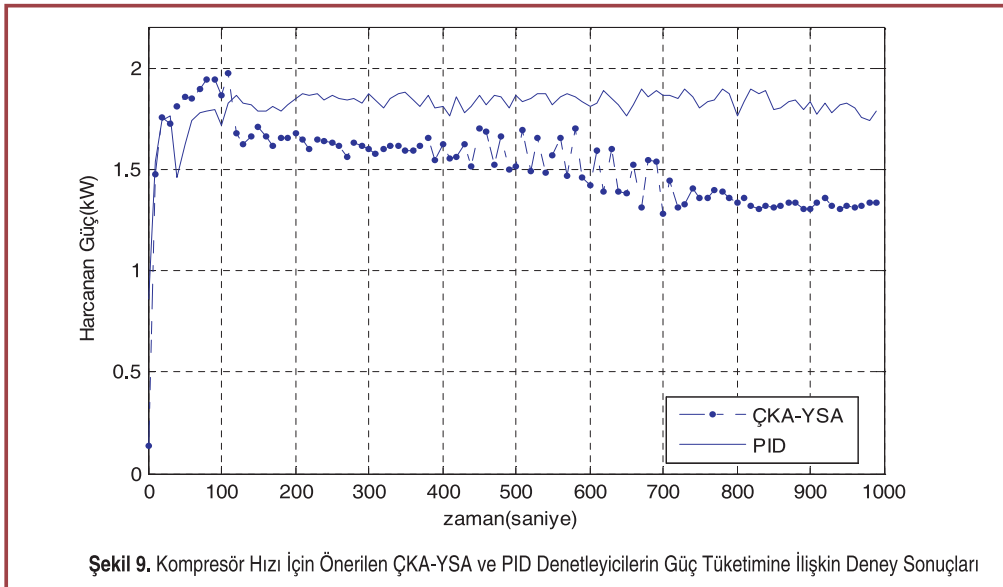
YSA denetleyici için iki giriş hücresi, on saklı hücre ve bir çıkış hücresi kullanılmış ve öğrenme adımı ise yeterince küçük 0.01 olarak seçilmiştir. Hazırlanan sistem tanılayıcı ve ters sistem denetleyici (m.file) dosyaları sırasıyla "pUserDefined" ve "cMyController" seçenekleri ile platformun DTSYP ara yüzüne yüklenmiştir. Yüklenen dosyalarla DTSYP ara yüzü kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan benzetim ve deneysel çalışmalar için istenen su çıkış sıcaklığı $T_{wo}=9^{\circ}\text{C}$ değerine ayarlanmıştır. Su çıkış sıcaklığı ve kompresör frekansı için elde edilen benzetim çalışmaları ve deneysel sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

Önerilen ÇKA-YSA ve PID denetleyicilerin enerji verimi ve başarımlarının karşılaştırılması: Soğutma sistemi kompresör hızı denetimi için tasarlanan ÇKA-YSA denetleyici ve geleneksel PID denetleyicinin enerji verimi ve başarımları deneysel değerler üzerinden karşılaştırılmıştır. PID denetleyici katsayıları Ziegler-Nicholas titreşim yöntemine göre $K_p=2.5$, $K_i=0.12$ ve $K_d=18.75$ olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar için istenen su çıkış sıcaklığı $T_{wo}=9^{\circ}\text{C}$ değerine ayarlanmıştır. Su çıkış sıcaklığı ve kompresör frekansı için önerilen ÇKA-YSA ve PID denetleyici deney sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.





Şekil 8. Önerilen ÇKA-YSA ve PID Denetleyici İçin Deneysel Sonuçları: Su Çıkış Sıcaklığının (a) ve Kompresör Frekansının (b) Zamana Göre Değişimleri



Şekil 9. Kompresör Hızı İçin Önerilen ÇKA-YSA ve PID Denetleyicilerin Güç Tüketimine İlişkin Deney Sonuçları

Soğutma sistemindeki kompresörün enerji verimi, önerilen ÇKA-YSA ve PID denetleyici için elde edilen deney sonuçları uyarınca karşılaştırılmıştır. Enerji verimini bulmak için güç tüketimi bir güç-ölçer ile ölçülmüştür. Gücün zamana göre değişimi Şekil 8'de verilmektedir. Deney süresinin 1000 saniye olduğu durumda, önerilen YSA ile kompresör hız denetimi için 1525 kJ enerji tüketilmiştir. PID denetleyici ile kompresör hız denetimi yapıldığında ise 1814 kJ enerji tüketilmiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Değişken hızlı scroll kompresörün hız ayarı için çok katmanlı yapay sinir ağları (ters sistem) denetleyicisi tasarlanmış ve gerçek-zaman bir benzetim platformunda sınınanarak gerçek bir soğutucu sistem üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bilimsel yazında yaygın olarak kullanılan (PID ve benzeri) denetleyiciler yerine seçilen (ters sistem yaklaşım tabanlı) yapay sinir ağ denetleyicilerin, soğutma sisteminin su çıkış sıcaklığı ve enerji tüketimi açısından daha başarılı olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Yapay sinir ağ denetleyicisinin tasarımında, sistem tanılama ve denetleyici eğitimi aşamaları soğutma sisteminden alınan gerçek verilere dayalı olarak yapılmıştır. Yapay sinir ağ denetleyicinin, su çıkış sıcaklığını istenilen ($T_{wo}=9^{\circ}\text{C}$) değerine çok yakın olmak üzere $T_{wo}=8.7\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ dolaylarında kalmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Giriş-çıkış verilerinin alındığı deney süresinin 1000 sn olduğu durumda, yapay sinir ağ denetleyici ile kompresör hızının denetlenmesinde kompresör enerji tüketimi (güç ölçer kullanılarak) 1525 kJ, PID ile denetlenmesi durumunda ise 1814 kJ olarak ölçülmüştür. Yapay sinir ağ ile denetim durumunda % 15.9 enerji indirimi sağlandığı görülmüştür.

Önerilen denetleyici tasarım yönteminin; i) gerçek sistemden alınan ölçüm verilerine dayalı olması, ii) denetleyicilerin tasarımının gerçek-zamanda benzetimle sınınanarak yapılması ve iii) yapay sinir ağ denetleyicinin soğutma sisteminin doğrusal olmayan dinamiklerini denetlemeye uygun bir yapı olması, diğer denetleyici tasarım yöntemlerine göre üstünlükleri olarak gözlemlenmiştir. Bu çalışma, sistem tanılama ve denetleyici için farklı yapay sinir ağ modelleri kullanılarak veya ters sistem yaklaşımı yerine daha farklı yapay sinir ağ denetleyici tasarım yaklaşımları kullanılarak geliştirmeye, böylece enerji verimi ve başarıyı daha yüksek soğutma sistemleri elde etmeye açıktır.

KAYNAKÇA

1. **Özkoç, N.** 1999. Uygulamalı Soğutma Tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını, Beşinci Baskı, no:155, Ankara,
2. **Apra, C., Renno, C.** 2009. "Experimental Modelling of Variable Speed System" International Journal of Energy Research, 33, 29-37.
3. **Apra, C., Mastrullo, R., Renno, C.** 2006. "Performance of Thermostatic and Electronic Valves Controlling the Compressor capacity", International Journal of Energy Research, 30, 1313-1322.
4. **Ekren, O., Şahin, S., İşler, Y.** 2009. Optimum Controller for Variable Speed Compressor and Electronic Expansion Valve, International Journal of Refrigeration (Under Review Process, with the manuscript number of IJIR-D-09-00376).
5. **Apra, C., Mastrullo, R., Renno, C.** 2006. "Experimental Analysis of The Scroll Compressor Performances Varying Its Speed," Applied Thermal Engineering, 26, 983-992.
6. **Lazzarin, R., Noro, M.,** "Experimental Comparison of Electronic And Thermostatic Expansion Valves Performance In An Air Conditioning Plan", International Journal of Refrigeration, 31, 113-118, 2008.
7. **Li, H., Jeong, S. K., Yoon J. I., You S.S.** 2008. "An Empirical Model For Independent Control of Variable Speed Refrigeration System", Applied Thermal Engineering, 28, 1918-1924.
8. **Astrom, K., Hagglund, T.** 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, (2nd Edition) Research Triangle Park, NC.
9. **Yüksel, İ.** 2006. Otomatik Kontrol, Beşinci Baskı, Nobel Basımevi, Ankara.
10. **Zadeh, L.A.** 1965. "Fuzzy sets", Information and Control, 8, 338-353.
11. **Nguyen, D. H., Widrow, B.** 1990. "Neural Networks For Self-Learning Control Systems", IEEE Control System Magazine, 10, 18-23.
12. **Narendra K. S.** 1996. "Neural Networks For Control Theory and Practice," Proceedings of the IEEE, 84, 1385-1406.
13. **Şahin S., İşler Y., Güzel, C.** 2010. "A Microcontroller Based Test Platform for Controller Design", IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2010: ISIE'2010, Bari / Italy, 4-7 July, English, Accepted.
14. **Haykin, S.** 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, (2nd Edition), Prentice-Hall.
15. **Cabera J. B. D., Narendra K. S.** 1999. "Issues in the Application of Neural Networks for Tracking Based on Inverse Control," IEEE Transaction on Automatic Control, 44, 2007-2027.
16. **Ljung, L.** 1987. System Identification: Theory for the User, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.