



Veri madenciliği kümeleme algoritmaları kullanarak arıza dayanımlı denetim sistemi tasarımı

Umut Altınışik^{1*}, Mehmet Yıldırım²

^{1*}Enformatik Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, 41380, Kocaeli/Türkiye

²Ağ Tabanlı Kontrol Sistemleri Laboratuvarı, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, 41380, Kocaeli/Türkiye
umuta@kocaeli.edu.tr , myildirim@kocaeli.edu.tr

24.04.2012 Geliş/Received, 18.12.2012 Kabul/Accepted

ÖZET

Bu çalışmada, geliştirmiş olduğumuz bir arıza dayanımlı denetim (ADD) sisteminde kullanılmak üzere iki farklı kümeleme algoritması incelenmiş ve arıza tanılama başarımları araştırılmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan birçok uygulamada, sistemin matematiksel modelinin tam olarak oluşturulamadığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, herhangi bir matematiksel modele gereksinim duyulmadan, bilgi tabanlı yöntemler kullanarak arıza tespit ve tanılaması (ATT) yapılmıştır. ATT tarafından çevrimdışı olarak elde edilmiş tank verileri k-means algoritması ve en uzağı en önce tara algoritması (EUEÖTA) ile ayrı ayrı kümelenecek bilgi tabanları oluşturulmuştur. Çalışmada, her iki algoritmayla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, EUEÖTA ile daha başarılı arıza dayanımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıza dayanımlı denetim, arıza tespit ve tanılama, k-means, üçlü tank, veri madenciliği

Fault tolerant control system design by using clustering algorithms of data mining

ABSTRACT

In this study, two clustering algorithms and their success in fault isolation have been investigated in order to use in our fault tolerant control (FTC) system. With so many applications used today, the mathematical model of the system cannot be completely established. Therefore, in this study, fault detection and isolation (FDI) is realized by using knowledge-based methods, without the need for any mathematical model. Sensor data, which are taken offline by FDI, are clustered to create knowledge base by means of k-means and farthest first traversal algorithm (FFTA), respectively. The results obtained by the two algorithms are compared and FFAT has found to be more successful in fault tolerance.

Keywords: Fault tolerant control, fault detection and identification, k-means, three tank, data mining

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. GİRİŞ

Arıza dayanımlı denetim (ADD) sistemlerinin temel amacı, algılayıcı ve eyleyici arızalarına rağmen sistemin kararlı ve tatmin edici bir başarımla çalışmasını sürdürmesi için uygun bir denetleyicinin tasarlanmasıdır. ADD sistemleri, bileşen arızalarını otomatik olarak düzeltme yeteneğine sahip denetim sistemleridir [1]. ADD sistemlerinde; sistemin güvenilirliği, sürdürülebilirliği ve güvenlik çok önemlidir. Güvenirlik, arıza oluşmasına rağmen sistemin başarılı bir şekilde çalışmasıdır. Sürdürülebilirlik, arızanın kolayca giderilebilmesi ve çalışmanın devam ettirilebilmesidir. Güvenlik, insan sağlığı ve denetim sistemlerinin tehlikeye atılmadan sistemin yürütülmesidir [2]. Arıza tespit ve tanılamada (ATT) kullanılan yöntemler başlıca iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar, model tabanlı ve bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemleridir. Doğrusal ve doğrusal olmayan süreç yaklaşımlarında, arıza tespit ve tanılamasının yapısı model tabanlı olarak oluşturulurken, genellikle model öngörülü denetim (*ing.* model predictive control) ve genelleştirilmiş olabilirlik oranı (*ing.* generalized likelihood ratio) yöntemleri birlikte kullanılmışlardır [3-6].

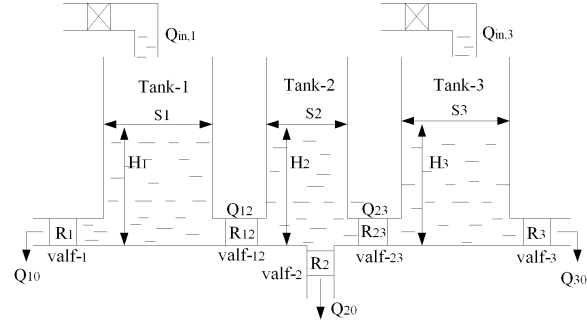
Günümüzde kullanılmakta olan birçok uygulamada, sistemin matematiksel modelinin tam olarak oluşturulmadığı görülmektedir. Bu nedenle, performans ölçütünün karşılanabilmesi için, zaman içerisinde bilgi tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Bilgi tabanlı yöntemlerin kullanılmasının sağladığı en büyük avantaj, herhangi bir matematiksel modele gereksinim duyulmadan, arıza tespit ve tanılamasının daha kolay yapılabilmesidir. Bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılamada analitik ve sezgisel bilgi tabanlı yaklaşımları söz konusudur. Analitik bilgi tabanlı süreç içerisindeki nicel ve analitik bilgilerin kullanılması ile oluşturulur. Sezgisel bilgi tabanının oluşturulmasında ise nitel bilgiler kullanılmaktadır [7].

Bu çalışmada, üçlü tank sıvı seviyesi denetim sistemindeki algılayıcı arızaların tespiti ve tanılanması yapılarak, ADD gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere PID denetleyicili üçlü tank seviye denetim sisteminin MatLab-Simulink modeli yapılmış, 7 adet toplamsal, çarpımsal ve tıkama tipinde algılayıcı arızaları oluşturulmuş, arızalar sisteme uygulanarak her bir arıza durumuna ait sistem verileri elde edilmiştir. Kullanılan bilgi tabanlı arıza dayanımlı denetim sistemi; ATT ve bilgi tabanlı kısımlarını içermektedir. ATT kendi içerisinde, özellik çıkartımı ve kümeleme olmak üzere iki aşamaya ayrılmaktadır. Geçmiş sistem verileri üzerinde pencereleme ve varyans değişim oranı istatistiksel teknikleri kullanılarak özellik çıkartımı yapılmaktadır. ATT tarafından çevrimdışı olarak elde edilmiş tank

verileri k-means ve en uzağı en önce tara algoritması (EUEÖTA) ile kümelenecek bilgi tabanı oluşturulmuş ve her iki yöntemin başarımları karşılaştırılmıştır.

2. ARIZA DAYANIMLI DENETİM SİSTEMİ TASARIMI

Bu çalışmada, kapalı devre bir denetim sistemindeki arızaların tespiti, tanılanması ve arıza dayanımlı bir denetimin gerçekleştirilmesi için üçlü tank sistemi kullanılmıştır. Üçlü tank sistemi; birbirine bağlı üç adet su tankı, pompalar ve valflerden oluşmaktadır. Tank-1 ve tank-3'te sisteme sıvı girişini sağlayan iki adet pompa, tank-1 ile tank-2 ve tank-2 ile tank-3 arasında iki adet sıvı geçişini sağlayan valf mevcuttur. Ayrıca, her bir tank için sistemden sıvı çıkışını sağlayan birer adet valf mevcuttur. Üçlü tank sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir [8].



Şekil 1. Üçlü tank sistemi yapısı

Üçlü tank sisteminde amaç, tank-2 ile etkileşim halinde olan tank-1 ve tank-3'e ait pompa ve valfleri denetleyerek tank-2'deki sıvı seviyesini istenilen düzeyde tutmaktır. Üçlü tank sisteminde kullanılan denge denklemlerinin matematiksel modeli [9]; S_1 tank-1'in taban alanı ($8.107 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), S_2 tank-2'nin taban alanı ($4.560 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), S_3 tank-3'ün taban alanı ($8.107 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), ρ sıvı yoğunluğu (su için, $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$), H_i tank- i 'nin su seviyesi (m), $Q_{in,i}$ pompa- i 'den sıvı akış oranı (m^3/sn), $Q_{i,0}$ tank- i 'den dışarı sıvı akış oranı (m^3/sn), $Q_{i,j}$ tank- i ve j arasındaki sıvı akış oranı (m^3/sn), R_i valf- i deki drenaj direnci (kg/m^5) ve $R_{i,j}$ tank- i ve tank- j arasındaki akış direnci (kg/m^5) olmak üzere Denklem 1-4 ile ifade edilmektedir.

$$\frac{dH_1}{dt} = -\frac{k_1}{S_1} \sqrt{gH_1(t)} - \frac{k_{12}}{S_1} \text{sgn}(H_1(t) - H_2(t)) \sqrt{g|H_1(t) - H_2(t)|} + \frac{Q_{m,1}}{S_1} \quad (1)$$

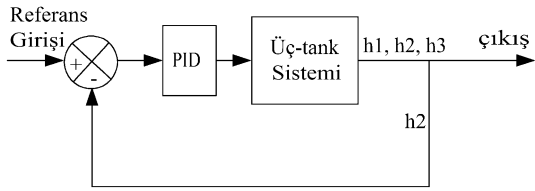
$$\frac{dH_2}{dt} = -\frac{k_2}{S_2} \sqrt{gH_2(t)} + \frac{k_{12}}{S_2} \operatorname{sgn}(H_1(t) - H_2(t)) \sqrt{g|H_1(t) - H_2(t)|} \quad (2)$$

$$-\frac{k_{23}}{S_2} \operatorname{sgn}(H_2(t) - H_3(t)) \sqrt{g|H_2(t) - H_3(t)|}$$

$$\frac{dH_3}{dt} = -\frac{k_3}{S_3} \sqrt{gH_3(t)} + \frac{k_{23}}{S_3} \operatorname{sgn}(H_2(t) - H_3(t)) \sqrt{g|H_2(t) - H_3(t)|} + \frac{Q_{m,3}}{S_3} \quad (3)$$

$$k_1 = \frac{\rho}{R_1}, \quad k_2 = \frac{\rho}{R_2}, \quad k_3 = \frac{\rho}{R_3}, \quad k_{12} = \frac{\rho}{R_{12}}, \quad k_{23} = \frac{\rho}{R_{23}} \quad (4)$$

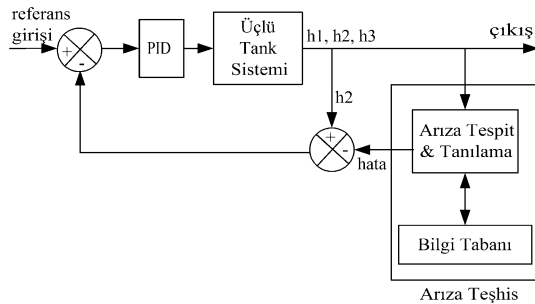
Üçlü tank sisteminde, tank-2 sıvı seviyesi bir denetleyici ile istenilen seviyede tutulurken, tank-1 ve tank-3'e pompalanan veya valflerle bu tanklardan dışarı atılan sıvı akış oranları eşit kabul edilmektedir. Sıvı seviyesi, kapalı çevrim bir denetim sisteminde, tank valflerinin PID denetleyici ile kontrol edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Benzetim çalışmalarının gerçekleştirildiği üçlü tank sisteminin kapalı çevrim denetimi Şekil 2'de gösterilmektedir. Sistem üzerinde kullanılan PID denetleyicinin transfer fonksiyonu Denklem 5'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Üçlü tank sisteminin kapalı çevrim denetimi.

$$C(s) = 4.8 + \frac{0.02}{s} + 0.5s \quad (5)$$

Bu çalışma ile önerilen ADD sisteminin genel yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir. Kapalı çevrim ADD sistemi PID denetleyici, üçlü tank sistemi ve arıza teşhis bölümlerinden oluşmaktadır. Üçlü tank sistemindeki tank seviye algılayıcılarından elde edilen h_1 , h_2 ve h_3 işaretleri arıza teşhis bölümünde işlenmektedir.

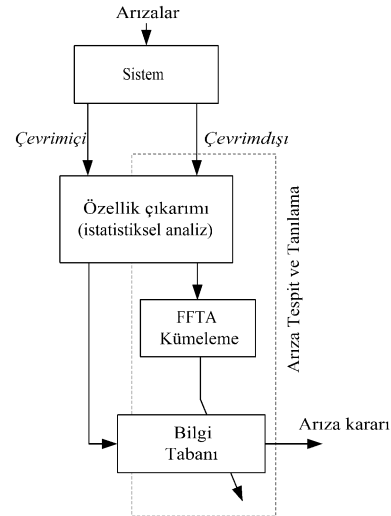


Şekil 3. Tasarlanan kapalı çevrim arıza dayanımlı denetim sistemi.

Bu çalışmada kullanılan arıza teşhis sisteminin genel yapısı Şekil 4'te gösterilmektedir. Arıza teşhis bölümü,

ATT ve bilgi tabanı kısımlarından oluşmaktadır. ATT da kendi içerisinde, istatistiksel analiz ve kümeleme olmak üzere iki aşamaya ayrılmaktadır. Geçmiş sistem verileri üzerinde istatistiksel teknikler kullanılarak sistemin normal durumlardan sapması tespit edilmektedir. Bu bölümde; kayan pencere yöntemi ile sinyal pencerelere ayrıldıktan sonra, pencere içerisindeki verilerin ortalamadan ne kadar uzaklaştığı varyans değişim oranı ile hesaplanarak özellik çıkartımı işlemi gerçekleştirilmektedir.

Sistem üzerinde arıza tespit edildikten sonra, arızanın tanımlama ve büyüklüğünü belirleme işlevi gerçekleştirilmektedir. ATT tarafından çevrimdışı olarak elde edilmiş tank verileri kümeleme algoritmaları ile işlenerek bilgi tabanı oluşturulmaktadır. Burada, k-means ve EUEÖTA'nın kullanım amacı, normal ve arızalı geçmiş tank verilerinin kümelendirilmesidir. Sistemin çalışmasının normal veya anormal olduğu verilerin farklı kümelere ayrılması ile ortaya çıkarılmaktadır. Kümeleme aşamasında, her bir tank seviyesi için varyans değişim oranları göz önünde tutularak kümeleme işlemi gerçekleştirilir. Önceden tanımlanmış tüm arızalar için, tank seviyelerine göre belirlenen özellik vektörleri bilgi tabanına küme merkezleri olarak kaydedilmektedir.



Şekil 4. Tasarlanan ATT sistemi genel yapısı.

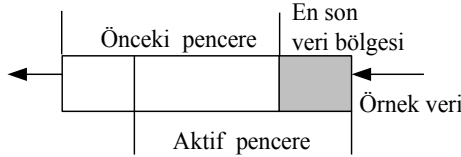
ATT sistemi çevrimiçi çalışırken tank seviyelerinden gelen verilerin özellik çıkarımı ile elde edilen varyans değerleri, bilgi tabanındaki veriler ile Öklid uzaklığı hesaplanarak karşılaştırılır. Böylece sistemin çevrimiçi çalışırken normal veya arızalı olduğu kararı verilir. Eğer arıza tespit edilirse, arızanın hangi kümeye ait olduğu, bilgi tabanında yer alan arıza küme merkezlerine olan uzaklıklara göre karar verilir. Arızanın tipinin

belirlenmesi işine arızanın tanınması veya izolasyonu adı verilmektedir. Arıza bir kez tanıldıktan sonra, o kümedeki arızaları gidermek için önceden belirlenmiş denetim değişikliği veya düzenlemesi işleme sokulur. Bu aşamada genellikle anahtarlamalı denetim kullanılmaktadır.

ATT sisteminde hem çevrimiçi hem de çevrimdışı olarak gerçekleştirilen özellik çıkartımı, sisteminin genel

3. ÖZELLİK ÇIKARTIMI

Özellik çıkartımının gerçekleştirilmesinde ilk adım olarak kayan pencere yöntemi kullanılmaktadır. Kayan pencere yöntemi ile olası hataya bağlı geçici sinyal değişimleri tespit edilmektedir. Bu yöntemde, sinyal örnekleri önceden belirlenmiş boyutta pencerelere ayrılır ve pencere içerisindeki sinyalde meydana gelen değişiklikler gözlemlenir. Bu işlem bir süreç içerisinde gerçekleştirilir iken, zaman ilerledikçe her bir pencere önceden belirlenmiş boyutta kaydırılır ve yeni pencere ile eski pencere içerisindeki özellikler karşılaştırılarak arızalı durumlar tespit edilir. Kayan pencere yönteminin çevrimiçi ve gerçek zamanlı uygulamalardaki kullanımı Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kayan pencere tekniği.

Şekilde görüldüğü gibi, aynı uzunlukta ve birbiri ile örtüşen iki adet veri penceresi bulunmaktadır. Bunlar, önceki pencere ve aktif pencere olarak isimlendirilmişlerdir. Önceki pencerede geçmiş zamanda elde edilmiş olan veriler bulunurken, aktif pencerede son zamanda elde edilen veriler bulunmaktadır. Kayan pencere yönteminde, sinyalin en son örneklerinde meydana gelen değişiklikleri içeren en güncel bilgiler, aktif penceredeki en son veri bölgesinde barınmaktadır [8].

Özellik çıkartımında, kayan pencere yöntemi ile sinyal pencerelere ayrıldıktan sonra, pencere içerisindeki verilerin ortalamadan ne kadar uzaklaştığı varyans ile hesaplanır. Her iki pencere için de varyansların belirlenmesinin ardından, varyansların değişim oranı (r) Denklem 6’da gösterildiği gibi hesaplanarak özellik çıkartımı gerçekleştirilmiş olunur. Denklemde, bölme işleminin sonsuza gitmemesi için ϵ ile ifade edilen küçük bir pozitif sayı denkleme eklenmektedir.

performansı üzerinde çok önemli bir role ve etkiye sahiptir. Özellik çıkartımı kullanılarak normal ve arızalı sistem durumlarının özellik vektörleri oluşturulur. Özellik vektörleri çevrimdışı süreçte geçmiş sistem verilerinin kullanılması ile elde edilirken, çevrimiçinde ise gerçek zamanlı ölçümlerden elde edildiği dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur.

$$r = \frac{\text{var}(\text{Aktif pencere}) - \text{var}(\text{Önceki pencere})}{\text{var}(\text{Önceki pencere}) + \epsilon} \quad (6)$$

4. ARIZALARIN KÜMELENMESİ

Bilgi tabanlı yöntemlerin, model tabanlı yöntemlerin yerine kullanılması ile birlikte sistem üzerindeki geçmiş verilerden maksimum oranda bilgi elde edilmektedir. Veritabanlarında muhafaza edilmekte olan bu verilerden faydalanarak her hangi bir konuda anlamlı sonuçlara ulaşmak çok önemli bir süreçtir. Bu süreç içinde veri madenciliği en önemli safhalardan birisidir. Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından anlamlı örüntülerin keşif ve analiz edilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır [10]. Veri madenciliği, çeşitli veri analiz araçları kullanarak, veriler üzerinde gelecek ile ilgili geçerli tahminler yapmamız için kullanılacak örüntü ve ilişkilerin keşfedilmesi süreci olarak da tanımlanmıştır [11].

Arıza tespit ve tanılamada, kümeleme yöntemleri ile veri madenciliği yapılarak, arızanın meydana gelip gelmediği saptanabilmektedir [12]. K-means ve türevleri yaygın olarak kullanılan kümeleme algoritmalarıdır. Diğer taraftan, kümeleme problemleri olan k-center ve k-median problemlerinin çözümü için başka algoritmalar da mevcuttur [13].

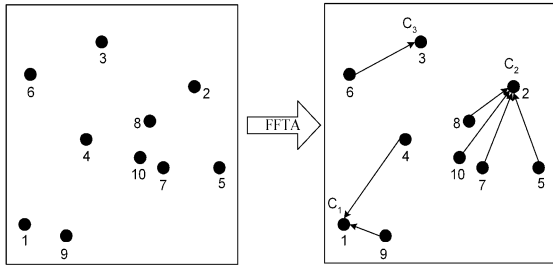
K-means algoritmasının işlem basamakları şöyledir:

1. Başlangıç küme merkezleri belirlenir. Bunun için iki farklı yol vardır. Birinci yol nesnelere arasından küme sayısı olan k adet rasgele nokta seçilmesidir. İkinci yol ise merkez noktaların tüm nesnelere ortalaması alınarak belirlenmesidir,
2. Her nesnenin seçilen küme merkez noktalarına olan uzaklığı hesaplanır. Elde edilen sonuçlara göre tüm nesnelere k adet kümeden kendilerine en yakın olan kümeyle yerleştirilirler,
3. Oluşan kümelerin yeni merkez noktaları, o kümedeki tüm nesnelere ortalaması değeri ile değiştirilir,
4. Küme merkez noktaları sabitlenene kadar 2. ve 3. adımlar tekrarlanır.

González [14], k-center probleminin çözümü için EUEÖTA adı verilen bir algoritma geliştirmiştir. Bu

algoritma, maksimum küme yarıçapları maliyet fonksiyonunu kullanarak, k adet optimum kümeyi bulabilmektedir. EUEÖTA ile problem çözümü iki aşamada gerçekleştirilir:

1. Herhangi bir veri noktası başlangıç noktası olarak alınır ve bu noktaya en uzak nokta seçilir. Daha sonra, ilk iki noktaya en uzak olan nokta seçilir ve bu işlem k adet nokta seçilinceye kadar devam ettirilir. Böylece, EUEÖTA k adet veri noktasını sıralı küme merkezleri (μ_1, \dots, μ_n) olarak yapılandırmış olur.
2. Kalan diğer noktalar kendilerine en yakın k adet seçilmiş küme merkezlerinden birine atanır. Şekil 6'da rasgele olarak belirlenmiş olan on noktanın EUEÖTA kullanılarak üç kümeye ayrılmasının sonucu gösterilmektedir.



Şekil 6. EUEÖTA ile on adet noktanın üç kümeye ayrıştırılması.

K-means veya EUEÖTA ile kümeleme aşamasında, her bir tank seviyesi için varyans değişim oranları göz önünde tutularak kümeleme işlemi gerçekleştirilir. Önceden tanımlanmış tüm arızalar için, tank seviyelerine göre belirlenen özellik vektörleri bilgi tabanına küme merkezleri olarak kaydedilmektedir. ATT sistemi çevrimiçi çalışırken, tank seviyelerinden gelen verilerin özellik çıkarımı ile elde edilen varyans değerleri, bilgi tabanındaki veriler ile Öklid uzaklığı hesaplanarak karşılaştırılır. Böylece sistemin çevrimiçi çalışırken normal veya arızalı olduğu kararı verilir. Eğer arıza tespit edilirse, arızanın hangi kümeye ait olduğu, bilgi tabanında yer alan arıza küme merkezlerine olan uzaklıklara göre belirlenir. Arızanın tipinin belirlenmesi işine arızanın tanınması veya izolasyonu adı verilmektedir. Arıza bir kez tanıldıktan sonra, o kümedeki arızaları gidermek için önceden belirlenmiş denetim değişikliği veya düzenlemesi işleme sokulur.

5. ÜÇLÜ TANK SİSTEMİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMA

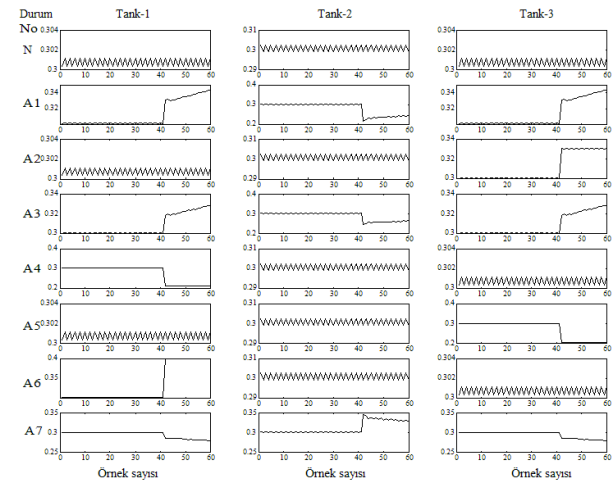
Üçlü tank sistem modeline, Tablo 1'de yer alan, yapay algılayıcı arızaları [9] uygulanarak, arızaların sistem üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve bilgi tabanı

oluşturmak üzere, her bir arıza durumuna ait sistemin verileri elde edilmiştir. Tablodaki yapay algılayıcı arızaları 30. saniyede birer birer üçlü tank sistemine uygulanmış; her bir arıza durumunda tank-1, tank-2 ve tank-3'ün gerçek seviyeleri, algılayıcılar vasıtasıyla ölçülen seviyeleri ve PID denetleyicisinin ürettiği denetim işaretleri 60 saniye süresince 6000 örnek olarak sistemden alınmış ve analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. Algılayıcı arızaları ve özellikleri

Durum No	Arıza Tipi
N	Arızasız, normal çalışma koşulu
A1	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)
A2	tank-3 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x1.1)
A3	tank-2 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.8)
A4	tank-1 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.7)
A5	tank-3 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)
A6	tank-1 seviye algılayıcısı için tukama tipinde arıza (0.4)
A7	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (+0.05)

Tablo 1'deki tüm arıza durumları için benzetim çalışması sonuçlarında elde edilen veriler pencerelenerek gözlemlene işlemi gerçekleştirilmiştir. Pencerleme safhasında, pencerelenen işaretin genişliği 60, son veri bölgesi genişliği ise 20 örnek olarak alınmıştır. Pencerleme işlemi gerçekleştirilirken, her bir pencere son veri bölgesi genişliği kadar kaydırılmaktadır. Şekil 7'de, normal ve tüm arıza durumları için arızanın görüldüğü pencereler gösterilmektedir.



Şekil 7. Tanklara ait seviye algılayıcılarından alınan işaretlerin pencerelenmesi

Özellik çıkartımı yapılmasının ardından, kümeleme yöntemi kullanılarak, sistemden alınan geçmiş veriler kümelere ayrıştırılmakta ve küme merkezleri bulunmaktadır. Tablo 1 ile verilen algılayıcı arızalarına ait küme merkezleri k-means ve EUEÖTA ile sırasıyla

Tablo 2 ve Tablo 3'deki gibi belirlenmiştir. Sistem üzerinde arızanın hangi kümeye ait olduğu, en kısa Öklid uzaklığına göre tespit edildikten sonra, ilgili kümeye ait önceden belirlenmiş arızanın düzeltilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.

Tablo 2. K-means ile bulunan arıza küme merkezleri.

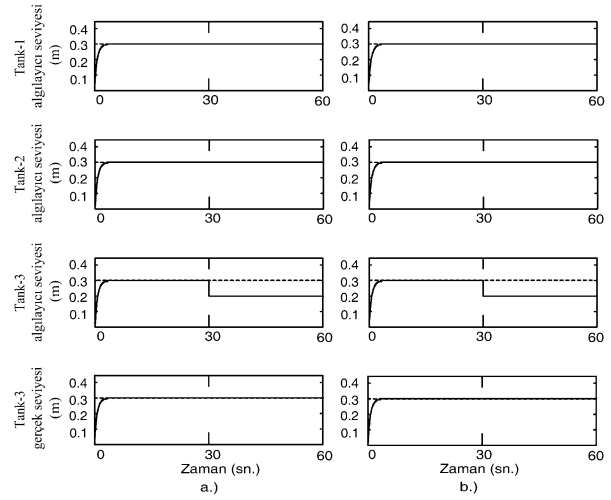
Durum	Küme merkezleri (K-means)		
	tank-1	tank-2	tank-3
N	0	0	0
A1	1573.54	304.39	1573.54
A2	0	0	1116.30
A3	513.39	101.59	513.39
A5	4047	0	7442.06
N	0	0	0
N	0	0	0
N	0	0	0

Tablo 3. EUEÖTA ile bulunan arıza küme merkezleri.

Durum	Küme merkezleri (FFTA)		
	tank-1	tank-2	tank-3
N	0	0	0
A1	1573.54	304.39	1573.54
A2	0	0	1116.30
A3	639.03	126.79	639.03
A4	10018.08	0	0
A5	0	0	12308.11
A6	12141	0	0
A7	387.75	76.40	387.75

Tasarlanan ADD sistemi ile tank-1, tank-2 ve tank-3 algılayıcı arızaları ile ilgili olarak; arızanın tipi, büyüklüğü ve hangi tankta meydana geldiği tam olarak tespit edilebilmektedir. Tablo 1'de verilmiş olan A2, A4, A5 ve A6 numaralı arızalar tank-1 ve tank-3 algılayıcılarında meydana geldiği için, arıza öncesi ve sonrası tankların gerçek seviyeleri değişmemektedir. Bunun sebebi, üçlü tank sisteminde amaç tank-2'nin seviyesini sabit tutmak olduğundan, tank-2 ölçülen seviyesinde herhangi bir değişme olmadığı sürece denetleyici tank-2 seviyesine müdahale etmek maksadıyla tank-1 ve tank-3 seviyelerini değiştirmemektedir.

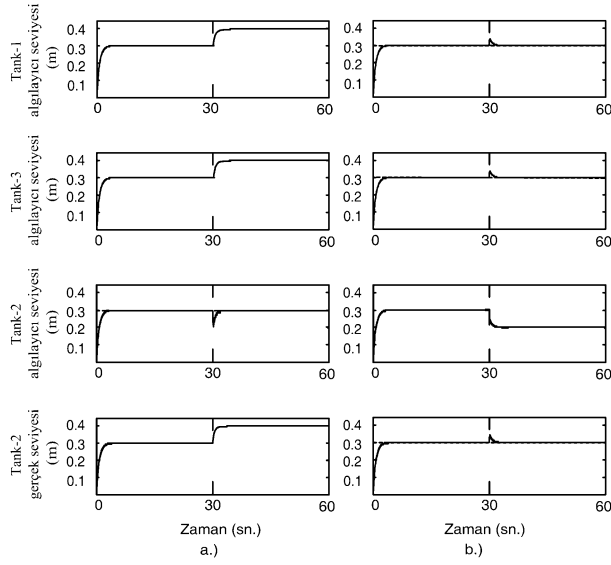
Bu nedenle, tank-1 ve tank-3 algılayıcı arızaları tespit edildiğinde, herhangi bir arıza düzeltme işlemi yapılmamaktadır. Bu arızaların tümünde, sistemin arıza dayanımlı ve dayanımsız olarak vermiş olduğu cevaplar aynı olduğundan, örnek olarak sadece A5 numaralı tank-3 arızası Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8 (a). A5 numaralı arıza için arıza dayanımsız denetim.
(b). A5 numaralı arıza için arıza dayanımlı denetim.

Tablo 1'de verilmiş olan A1, A3 ve A7 numaralı tank-2 arızaları uygulandığında ise, tank-2 seviyesini korumak amacıyla PID denetleyicisinin devreye girmesi sonucunda, arıza dayanımsız denetimde tankların tümünün gerçek seviyelerinin değiştiği gözlemlenmektedir. Arıza dayanımlı denetimde ise, bu arızalar, kümeleme algoritması ile tespit edilen arıza kümelerine göre düzeltilmekte ve tankların seviyeleri referans değeri ile aynı seviyede, doğru olarak ölçülmektedir. A1 numaralı tank-2 arızasında, sistemin arıza dayanımsız denetim ve arıza dayanımlı denetim koşullarında vermiş olduğu cevaplar Şekil 9'da gösterilmektedir.

Örnek olarak; Tank-2 üzerinde, A1 numaralı toplamsal -0.1 arızası 30. saniyede uygulandığında, arıza dayanımsız sistemde, Şekil 9.a'da görüldüğü gibi, gerçek seviyede herhangi bir değişim olmamasına rağmen, tank-2 algılayıcısı arıza sonrasında 0.2m ölçüm göstermektedir. PID denetleyicisi arızalı 0.2m'lik ölçüm değerini yeniden referans girişi ile aynı seviyeye getirebilmek için tank-1 ve tank-3 seviyelerini dolayısı ile de tank-2 seviyesini 0.1m artırmaktadır. Hatalı düzeltme işleminden sonra, her üç tankın da gerçek seviyeleri 0.4m olmasına rağmen, tank-1 ve tank-3 algılayıcıları 0.4m ölçüm gösterirken tank-2 algılayıcısı 0.3m ölçüm göstermektedir. Şekil 9.b'de ise, arıza dayanımlı denetim ile arızanın tank-2 toplamsal -0.1 arıza kümesine ait olduğu yaklaşık 0.2 saniye içerisinde tespit edilebilmektedir. Arıza sonrasında, tank-2 seviye algılayıcısı 0.2m'lik hatalı ölçümü sürdürür iken, tank-1, tank-2 ve tank-3 gerçek seviyeleri arıza düzeltme işlemi sonucunda 0.3m'lik referans girişi ile aynı değerde ve doğru olarak gözlenmektedir.



Şekil 9 (a). A1 numaralı arıza için arıza dayanımsız denetim.
(b). A1 numaralı arıza için arıza dayanımlı denetim.

Tablo 1'deki A1-A7 arızalarının tümü ADD sistemine uygulanmış ve iki farklı kümeleme algoritması ile arızalar tanılanmaya çalışılmıştır. K-means ile yapılan kümelemede A4, A6, ve A7 arızaları doğru olarak tanılanamamış; bunların yerlerine sırası ile A1, A1, ve A3 arızaları tanılanmıştır (Tablo 4). Bu yanlış tanılama sonucunda, arıza düzeltme işlemleri de yanlış yapılmış, kalıcı hal hataları (*ing.* integral square error - ISE) çok büyük çıkmıştır. EUEÖTA ile yapılan kümeleme de ise tüm arızalar doğru olarak tanılanmıştır (Tablo 5). Bunun sonucunda yapılan arıza düzeltme işlemlerinde yine doğru düzeltmeler yapılmış ve ISE değerleri beklendiği gibi küçük çıkmıştır. Karşılaştırmalar göstermiştir ki, arıza tespit ve tanılamada, hiyerarşik kümeleme algoritması olan EUEÖTA, diğer alanlarda yaygın olarak kullanılan k-means algoritmasından daha başarılı sonuçlar vermektedir. K-means algoritması arızayı doğru tanılayamayıp yanlış alarm verebilmekte, fakat EUEÖTA tüm arızaları doğru tanılayabilmektedir.

Tablo 4. K-means ile kümeleme sonuçları.

Durum	Arıza Tipi	Arıza Kümesi	Doğru Alarm	ISE
N	Arızasız, normal çalışma koşulu	N	✓	2.97
A1	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)	A1	✓	3.11
A2	tank-3 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x1.1)	A2	✓	2.97
A3	tank-2 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.8)	A3	✓	3.07
A4	tank-1 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.7)	A1	X	31.5
A5	tank-3 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)	A5	✓	2.97
A6	tank-1 seviye algılayıcısı için tıkama tipinde arıza (0.4)	A1	X	41.46
A7	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (+0.05)	A3	X	3.48

Tablo 5. EUEÖTA ile kümeleme sonuçları.

Durum	Arıza Tipi	Arıza Kümesi	Doğru Alarm	ISE
N	Arızasız, normal çalışma koşulu	N	✓	2.97
A1	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)	A1	✓	3.11
A2	tank-3 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x1.1)	A2	✓	2.97
A3	tank-2 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.8)	A3	✓	3.07
A4	tank-1 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.7)	A4	✓	2.97
A5	tank-3 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)	A5	✓	2.97
A6	tank-1 seviye algılayıcısı için tıkama tipinde arıza (0.4)	A6	✓	2.97
A7	tank-2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (+0.05)	A7	✓	3.48

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, üçlü tank sıvı seviyesi denetim sistemindeki algılayıcı arızaların tespiti ve tanınması yapılarak, arıza dayanımlı denetim gerçekleştirilmiştir. Üçlü tank sisteminin benzetimini yapabilmek ve ihtiyaç duyulan arıza verilerini elde edebilmek için, PID denetleyicili üçlü tank seviye denetim sisteminin MatLab-Simulink modeli yapılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan ADD sisteminin genel yapısı PID denetleyici, üçlü tank sistemi ve arıza teşhis bölümlerinden oluşmaktadır. Arıza teşhis sistemi ATT ve bilgi tabanı kısımlarını içermektedir. Geçmiş sistem verileri üzerinde istatistiksel teknikler kullanılarak özellik çıkartımı yapılmaktadır. ATT tarafından çevrimdışı olarak elde edilmiş tank verileri, k-means ve hiyerarşik bir kümeleme yöntemi olan EUEÖTA ile kümelenecek bilgi tabanı oluşturulmuştur. ATT sistemi çevrimiçi çalışırken, tank algılayıcılarından gelen verilerin varyans değişim oranları ile bilgi tabanında yer alan küme merkezleri arasındaki Öklid uzaklıkları karşılaştırılarak, arıza tespit edilmekte ve tanınmaktadır. Çalışmada, farklı özelliklerde 7 adet arıza üretilerek, ADD sistemine uygulanmış ve kümeleme algoritmalarının başarımı belirlenmeye çalışılmıştır. EUEÖTA, arıza tespit ve tanılamada, yaygın olarak kullanılan k-means algoritmasından daha başarılı sonuçlar vermiştir. K-means yanlış alarm verebilmiş, fakat EUEÖTA tüm arızaları doğru tanımlayabilmiştir. Uygulamalar sonucunda, EUEÖTA ile her bir arızanın yaklaşık olarak 0.2 saniye içerisinde tespit edildiği gözlenmiştir.

Her bir arıza için özellik vektörünü oluşturan varyans değişim oranları küme merkezi olarak kabul edilmektedir. Ancak, k-means sabit kalması gereken küme merkezlerini doğası gereği her iterasyonda değiştirerek güncellemektedir. Bu nedenle, k-means çevrimiçi olarak elde edilen özellik vektörlerini güncellenmiş küme merkezleri ile karşılaştırdığı için arızaları yanlış kümeleyebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, Y., Jiang, J., “Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control systems”, **Annual Reviews in Control**, Vol. 32-2, 229-252, (2008).
- [2] Stengel, R., F., “Intelligent failure-tolerant control”, **IEEE Control Systems Magazine**, Vol. 11-4, 14-23, (1991).
- [3] Patwardhan, S., C., Manuja, S., Narasimhan, S., Shah, S., L., “From data to diagnosis and control using generalized orthonormal basis filters, Part II: model predictive and fault tolerant control”, **Journal of Process Control**, Vol 16, 157-175, (2006).

- [4] Prakash, J., Patwardhan, S., C., Narasimhan, S., “A supervisory approach to fault tolerant control of linear multivariable systems”, **Industrial Engineering Chemistry Research**, Vol 41, 2270–2281, (2002).
- [5] Zhang, X., Parisini, T., Polycarpou, M., M., “Adaptive fault-tolerant control of nonlinear uncertain systems: An information-based diagnostic approach”, **IEEE Transactions on automatic Control**, Vol 49, 1259–1274, (2004).
- [6] Deshpande, A., P., Patwardhan, S., C., Narasimhan, S., “Intelligent state estimation for fault tolerant nonlinear predictive control”, **Journal of Process Control**, Vol 19, 187-204, (2009).
- [7] Isermann, R., “On fuzzy logic applications for automatic control, supervision, and fault diagnosis”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans**, Vol. 28-2, 221-235, (1998).
- [8] Xu, Z., “Design of Knowledge-based Fault Detection and Identification for Dynamical Systems” Yüksek Lisans Tezi, **University of Alberta**, Canada, (2002).
- [9] Postalcioglu, S., “İşaret İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Arıza Dayanımlı Denetleyici Tasarımı”, Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmit, (2007).
- [10] Berry, M., J., A., Linoff, G., Data Mining Techniques: For Marketing, Sales and Customer Support, Second Edition, **Wiley Publishing**, 165-209, (1997).
- [11] Introduction to Data Mining and Knowledge Discovery [online], Third Edition, Two Crows Corporation, USA, <http://www.twocrows.com/intro-dm.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2011).
- [12] Detroja, K., P., Gudi, R., D., Patwardhan, S., C., “A possibilistic clustering approach to novel fault detection and isolation”, **Journal of Process Control**, Vol. 16, 1055-73, (2006).
- [13] Dasgupta, S., Long, P., M., “Performance guarantees for hierarchical clustering”, **Journal of Computer System Sciences**, Vol. 70, 555-569, (2005).
- [14] Gonzalez, T., F., “Clustering to minimize the maximum intercluster distance”, **Theoretical Computer Sciences**, Vol. 38, 293-306, (1985).