



**Makale
(Article)**

Yanlamasına Uçuş Kontrol Sistemlerinde Modellemeye Dayalı Arıza Tespiti ve Ayrımı

Emre KIYAK

Anadolu Üniversitesi Hav. ve Uzay Bl. Fak. Hav. Elek. ve Elekt. Böl., 26470 Eskişehir/TÜRKİYE
ekiyak@anadolu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, uçuş kontrol sisteminde olabilecek algılayıcı arızalarının tespiti ve ayrımı modellemeye dayalı yöntemlerle kıyaslamalı yapılarak gerçekleştirilmekte ve yöntemlerin kıyaslamaları yapılmaktadır. Öncelikle, Tam Mertebe Gözleyici ve Adanmış Gözleyici Yapısı bir arada kullanılarak arızalı algılayıcının tespiti ve ayrımı Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından uçuş kontrol sistemine bilinmeyen girişlerinde etki etmesi durumu da gözönüne alınarak Bilinmeyen Giriş Gözleyicisi ve Genelleştirilmiş Gözleyici Yapısı bir arada kullanılarak arızalı algılayıcının tespiti ve ayrımı gerçekleştirilmiştir. İki arıza tespit yöntemi ve iki arıza ayırım yönteminin sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıza Tespiti, Arıza Ayrımı, Gözleyici, Modelleme.

Observer-Based Fault Detection and Isolation in Lateral Flight Control Systems

Abstract

In this study, possible sensor faults in the flight control system are detected and isolated based on modeling methods and this methods are compared each other. First, the full-order observer and Dedicated Observer Scheme are used together for faulty sensor detection and isolation by using Matlab program. Then taking into account the unknown inputs to influence of the flight control system, Unknown Input Observer and Generalized Observer Scheme are used together for faulty sensor detection and isolation. Two fault detection method and two fault isolation method are compared each other.

Keywords: Fault Detection, Fault Isolation, Observer, Modeling.

1. GİRİŞ

Uçak gibi üç boyutlu düzlemde hareket eden karmaşık bir sistemin hareketinde uçuş kontrol sistemi önemli bir rol üstlenir. Uçuş kontrol sistemi içinde görev yapan algılayıcılar bu amaç doğrultusunda kullanılır ve yaptıkları ölçümler son derece önemlidir. Algılayıcıların, her zaman doğru şekilde çalışmaları, yanlış çalışmaları durumunda ise ivedilikle yerlerine doğru ölçüm yapabilen algılayıcıların tetiklenmeleri sağlanmalıdır.

Hajiyev ve Caliskan tarafından çok boyutlu dinamik sistemler için Kalman Filtresi'ne dayalı bir algılayıcı arızası tespit algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, bir uçağın uzunlamasına dinamikleri için denenmiş ve hava hızı algılayıcısının arızasının tespiti gerçekleştirilmiştir [1].

Oosterom ve Babuska tarafından, ticari bir uçağın uçuş kontrol sistemine entegre edilmiş sanal bir algılayıcı geliştirilmiştir. Sanal algılayıcının girişleri olarak benzer nitelikte olmayan algılayıcıların çıkışları kullanılmaktadır. Takagi-Sugeno tip bulanık modeli ile oluşturulmuş sanal algılayıcı, uçak

Bu makaleye atıf yapmak için

Kiyak E., "Yanlamasına Uçuş Kontrol Sistemlerinde Modellemeye Dayalı Arıza Tespiti ve Ayrımı" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 12(2) 27-39

How to cite this article

Kiyak E., "Observer-Based Fault Detection and Isolation in Lateral Flight Control Systems" Electronic Journal of Machine Technologies, 2015, 12(2) 27-39

üreticisinden elde edilen verilerden yola çıkarak Matlab/Simulink programında gerçekçi bir şekilde oluşturulmuştur. Gerçek iki algılayıcının bir tanesinde arıza olması durumunda, sanal algılayıcı, arızalı algılayıcıyı tanımlamakta ve kendi görev yapmaya devam etmekte, aynı zamanda son algılayıcının arıza yapmasında bile çalışmasını sürdürebilmektedir [2].

Azam ve arkadaşları tarafından sabit kanatlı uçağın uçuş kontrol sisteminde gerçek zamanlı olarak arıza tespiti ve ayrımı problemi ele alınmıştır. Kanatçık, irtifa dümeni, istikamet dümeni ve yatay stabilize gibi kontrol yüzeyi elemanlarında olabilecek arızalara odaklanılmış, bu amaçla çeşitli arıza sınıflandırmaları oluşturulmuştur. Önerdikleri testler ile hemen hemen tüm arıza ayrımlarını tespit ettiklerini iddia etmektedirler [3].

Jayakumar ve Das tarafından, bir uçuş kontrol sisteminde yeni başlamış algılayıcı arızalarının tespiti ve ayrımına yönelik yöntem önerilmiştir. Uçuş kontrol sistemini DC motora dayalı bir elektromekanik eyleyicili sistem olarak ele almışlardır. Eyleyici pozisyonu, motor şaft hızı ve motor akımından yola çıkarak analitik hesaplamalara dayalı bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntem Luenberger'in gözleyicisine dayalı bir yaklaşım olup, elde edilen rezidülerden yola çıkarak başlangıç seviyesindeki algılayıcı arızalarının tespiti ve ayrımını gerçekleştirilebilmiştir [4].

Liu ve arkadaşları tarafından olası eyleyici arızalarının tespiti ve ayrımına yönelik dış bozucularında etkilediğı doğrusal sistemler için bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmalarında her bir olası eyleyici arızasını bir arıza modeli şeklinde düşünmüşler, kayma kipli gözleyici tarafından elde edilen rezidülerden yola çıkarak arızalı eyleyiciyi tespit etmişlerdir [5].

Bu çalışmada, uçak yanlamasına uçuş kontrol sisteminde olabilecek algılayıcı arızalarının tespiti ve ayrımı modellemeye dayalı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Öncelikle, Tam Mertebe Gözleyici'nin, Adanmış Gözleyici Yapısı (AGY) şeklinde kullanımı ile arızalı algılayıcının tespiti ve ayrımı Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından yanlamasına uçuş kontrol sistemine bilinmeyen girişlerinde etki etmesi durumu da gözönüne alınarak Bilinmeyen Giriş Gözleyicisi'nin, Genelleştirilmiş Gözleyici Yapısı (AGY) şeklinde kullanımı ile arızalı algılayıcının tespiti ve ayrımı Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki arıza tespit yöntemi ve iki arıza ayırım yönteminin sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

2. MODELLEMeye DAYALI ARIZA TESPİTİ

2.1 Gözleyici Teorisi

Gözleyicilerin temel prensibi; dinamik bir sistemin durum değışkenlerinin gözleyici olarak isimlendirilen bir başka sistemin durum değışkenleri tahminlerine yakınsamasıdır.

Doğrusal, zamanla değışmeyen bir sistemin durum uzayındaki gösterimi aşağıdaki gibi tanımlansın [6-12]:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(\mathbf{t}) + \mathbf{B}\mathbf{u}(\mathbf{t}) \\ \mathbf{y}(\mathbf{t}) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(\mathbf{t})\end{aligned}\quad (1)$$

Burada; $\mathbf{A} \in R^{n \times n}$ sistem katsayılar matrisi, $\mathbf{B} \in R^{n \times m}$ kontrol dağıtım katsayılar matrisi, $\mathbf{C} \in R^{n \times m}$ ölçüm dağıtım katsayılar matrisi, $\mathbf{x}(\mathbf{t}) \in R^{n \times 1}$ durum vektörü; $\mathbf{u}(\mathbf{t}) \in R^{m \times 1}$ giriş vektörü ve $\mathbf{y}(\mathbf{t}) \in R^{n \times 1}$ ölçüm vektörü olarak tanımlanmıştır.

Gözleyici dinamiğı, doğrusal bir sistem için, $\mathbf{y}(\mathbf{t})$ ölçüm vektörü ve $\mathbf{u}(\mathbf{t})$ giriş vektörünün lineer kombinasyonu şeklinde,

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) = \mathbf{Fz}(\mathbf{t}) + \mathbf{Gy}(\mathbf{t}) + \mathbf{Lu}(\mathbf{t}) \quad (2)$$

olarak tanımlanır. Burada; $\mathbf{F} \in R^{n \times n}$ gözleyici dinamikleri katsayılar matrisi, $\mathbf{G} \in R^{n \times m}$ ölçüm dağıtım katsayılar matrisi, $\mathbf{L} \in R^{n \times m}$ kontrol dağıtım matrisi ve $\mathbf{z}(\mathbf{t}) \in R^{n \times 1}$ gözlem vektörü olarak tanımlıdır.

Burada amaç, Eşitlik (2)'de verilen gözleyici dinamiğindeki \mathbf{F} , \mathbf{G} ve \mathbf{L} katsayılar matrislerinin bulunmasıdır.

Sistem ve gözleyici dinamiklerine boyut analizi yapıldığında, gözleyici boyutunun, sistem boyutuna eşit olduğu görülmektedir.

Eşitlik (1)'deki durum denklemini, $n \times n$ boyutlu bir \mathbf{T} matrisiyle çarpılıp, Eşitlik (2)'den çıkartıldığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\dot{\mathbf{z}}(\mathbf{t}) - \mathbf{T}\dot{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) = \mathbf{Fz}(\mathbf{t}) + \mathbf{Lu}(\mathbf{t}) + \mathbf{GCx}(\mathbf{t}) - \mathbf{TAx}(\mathbf{t}) - \mathbf{TBu}(\mathbf{t}) \quad (3)$$

Sistem ve gözleyici durumları arasındaki hata vektörü,

$$\mathbf{e}(\mathbf{t}) = \mathbf{z}(\mathbf{t}) - \mathbf{T}\mathbf{x}(\mathbf{t}) \quad (4)$$

olarak tanımlandığında, hatanın değişimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{\mathbf{e}}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}(\mathbf{z}(\mathbf{t}) - \mathbf{T}\mathbf{x}(\mathbf{t})) + (\mathbf{FT} - \mathbf{TA} + \mathbf{GC})\mathbf{x}(\mathbf{t}) + (\mathbf{L} - \mathbf{TB})\mathbf{u}(\mathbf{t}) \quad (5)$$

Aşağıdaki kabuller yapıldığında,

$$\mathbf{FT} - \mathbf{TA} + \mathbf{GC} = \mathbf{0} \quad (6)$$

$$\mathbf{L} - \mathbf{TB} = \mathbf{0} \quad (7)$$

$\dot{\mathbf{e}}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}\mathbf{e}(\mathbf{t})$ şekline gelir. Bu diferansiyel denklemin çözümü ise,

$$\mathbf{e}(\mathbf{t}) = \mathbf{e}^{\mathbf{Ft}} \mathbf{e}(\mathbf{0}) \quad (8)$$

şeklindedir.

\mathbf{F} , Hurwitz seçilirse (kutupların sol yarı karmaşık düzlemde seçilmesi durumu) hata vektörü sıfıra yakınsar:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{e}(\mathbf{t}) = \mathbf{0} \quad (9)$$

Böylece yatışkın durumda, $\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{z}(\mathbf{t}) = \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{T}\mathbf{x}(\mathbf{t})$ haline dönüşmüş olur.

2.2 Bilinmeyen Giriş Gözleyicisi

Aşağıdaki gibi bir durum uzayı matematik modeli tanımlansın [10, 13, 14]:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}\mathbf{d}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t)\end{aligned}\quad (10)$$

Burada; $\mathbf{d}(t) \in R^{q \times 1}$ bilinmeyen giriş vektörü ve $\mathbf{E} \in R^{n \times q}$ bilinmeyen giriş dağıtım katsayılar matrisi olarak tanımlıdır.

Bütün durumların hesaplanabildiği bir tam mertebe gözleyici yapısı ise, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [15, 16]:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{z}}(t) &= \mathbf{F}\mathbf{z}(t) + \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{K}\mathbf{y}(t) \\ \hat{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{z}(t) + \mathbf{H}\mathbf{y}(t)\end{aligned}\quad (11)$$

Burada; $\hat{\mathbf{x}} \in R^{n \times 1}$ hesaplanan durum vektörü, $\mathbf{T} \in R^{n \times m}$ boyutlu matris, \mathbf{K} ve $\mathbf{H} \in R^{n \times m}$ boyutlu matrisler olup, diğer matris ve vektörler, Eşitlik (1)'deki tanımlamalarda olduğu gibidir. Burada tanımlanan \mathbf{T} , \mathbf{K} ve \mathbf{H} matrislerinin seçilmesindeki diğer kriterler aşağıda açıklanmaktadır.

Hata vektörü;

$$\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t) \quad (12)$$

olarak tanımlandığında, Eşitlik (10)'daki sistem durumları ve Eşitlik (11)'de verilen hesaplanan durumlar kullanılarak bu denklem

$$\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{z}(t) - \mathbf{H}\mathbf{y}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{z}(t) - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{x}(t) = (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{x}(t) - \mathbf{z}(t) \quad (13)$$

olarak elde edilir.

Hata vektörünün değişimi ifadesi kullanılarak Eşitlik (13) düzenlenirse, Eşitlik (14)'e ulaşılır:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{e}}(t) &= (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\dot{\mathbf{x}}(t) - \dot{\mathbf{z}}(t) \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})[\mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}\mathbf{d}(t)] - \mathbf{F}\mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - \mathbf{K}\mathbf{y}(t) \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{A}\mathbf{x}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{B}\mathbf{u}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{E}\mathbf{d}(t) - \mathbf{F}\mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - (\mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2)\mathbf{y}(t) \\ &= (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{A}\mathbf{x}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{B}\mathbf{u}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{E}\mathbf{d}(t) - \mathbf{F}\mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - \mathbf{K}_1\mathbf{C}\mathbf{x}(t) - \mathbf{K}_2\mathbf{y}(t) \\ &= (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{x}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{B}\mathbf{u}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{E}\mathbf{d}(t) - \mathbf{F}\mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - \mathbf{K}_2\mathbf{y}(t) \\ \dot{\mathbf{e}}(t) &= (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{e}(t) + (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{z}(t) + (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{H}\mathbf{y}(t) + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ &\quad + (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{E}\mathbf{d}(t) - \mathbf{F}\mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - \mathbf{K}_2\mathbf{y}(t) \\ &= (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{e}(t) - [\mathbf{F} - (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})]\mathbf{z}(t) - [\mathbf{K}_2 - (\mathbf{A} - \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{A} - \mathbf{K}_1\mathbf{C})\mathbf{H}]\mathbf{y}(t) \\ &\quad - [\mathbf{T} - (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})]\mathbf{B}\mathbf{u}(t) - (\mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C})\mathbf{E}\mathbf{d}(t)\end{aligned}\quad (14)$$

Eşitlik (14)'de, $\mathbf{K} = \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2$ şeklinde iki kısma ayrılarak denklem düzenlenmiştir. Burada,

$$(\mathbf{H}\mathbf{C} - \mathbf{I})\mathbf{E} = \mathbf{0} \quad (15)$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{I} - \mathbf{H}\mathbf{C} \quad (16)$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{A} - \mathbf{HCA} - \mathbf{K}_1\mathbf{C} \quad (17)$$

$$\mathbf{K}_2 = \mathbf{FH} \quad (18)$$

tanımlarının yapıldığı kabul edilmektedir [17].

Yukarıdaki şartların sağlanması durumunda, Eşitlik (9)'a ulaşılır ve \mathbf{F} 'in tüm özdeğerleri, kompleks düzlemin sol yarı kısmında ise, \mathbf{e} asimptotik olarak sıfıra gidecek, dolayısıyla hesaplanan durumlar ($\hat{\mathbf{x}}$), sistemin gerçek durumlarına (\mathbf{x}) yakınsayacaktır.

2.3 Gözleyicilere Dayalı Algılayıcı Arızası Tespiti ve Ayrımı

Algılayıcı arızası ayrımı, Adanmış Gözleyici Yapısı (AGY) ve Genelleştirilmiş Gözleyici Yapısı (GGY) şeklinde iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilir. AGY yaklaşımının matematiksel ifadesi, Eşitlik (19)'da gösterilmektedir:

$$\mathbf{r}_i(\mathbf{t}) = \mathbf{R}(\mathbf{f}_{ai}(\mathbf{t})) \quad i = 1, 2 \dots n \quad (19)$$

Burada; $\mathbf{r}_i(\mathbf{t})$, i . rezidü sinyali, $\mathbf{f}_{ai}(\mathbf{t})$, i . algılayıcı arızasını ve \mathbf{R} ilişki fonksiyonunu göstermektedir. Bu durumda i . algılayıcıda olabilecek bir arıza durumu aşağıdaki şekilde gösterilebilir ve karar aşamasında kullanılabilir:

$$\mathbf{r}_i(\mathbf{t}) > \varepsilon_i \Rightarrow \mathbf{f}_{ai} \neq \mathbf{0} \Rightarrow i. \text{ algılayıcı arızası}$$

Burada, ε_i eşik değeri olarak tanımlanmıştır. Sıfırdan büyük olan her rezidünün arıza olarak yorumlanmaması için incelenen sisteme uygun olarak sıfırdan farklı bir değer seçilebilir. Teorik olarak sıfır seçilmesi esastır.

Eşitlik (19)'un kullanılarak algılayıcı arızasının ayrımının yapılmasında bazı sıkıntılar olabilir. Çünkü her bir arızanın tek bir rezidü ile değerlendirilmesi durumunda, rezidünün eşik değerin çok az altında kalma durumunda bu durum tespit edilemez. Çıkışın doğrudan ölçülemediği durumlarda da AGY ile çözüme gidilmesi olanağı yoktur. Bu bakımdan, GGY olarak bilinen ve her bir rezidünün bir algılayıcı arızası hariç, diğerlerine karşı duyarlı olduğu yapı anlayışı kullanılarak arıza ayrımı yoluna gidilmesi, değerlendirmenin daha sağlıklı yapılabilmesini sağlar. GGY yaklaşımının matematiksel ifadesi, Eşitlik (20)'de gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1(\mathbf{t}) &= \mathbf{R}(\mathbf{f}_2(\mathbf{t}), \dots, \mathbf{f}_n(\mathbf{t})) \\ &\vdots \\ \mathbf{r}_i(\mathbf{t}) &= \mathbf{R}(\mathbf{f}_1(\mathbf{t}), \dots, \mathbf{f}_{i-1}(\mathbf{t}), \mathbf{f}_{i+1}(\mathbf{t}), \dots, \mathbf{f}_n(\mathbf{t})) \\ &\vdots \\ \mathbf{r}_n(\mathbf{t}) &= \mathbf{R}(\mathbf{f}_1(\mathbf{t}), \dots, \mathbf{f}_{n-1}(\mathbf{t})) \end{aligned} \quad (20)$$

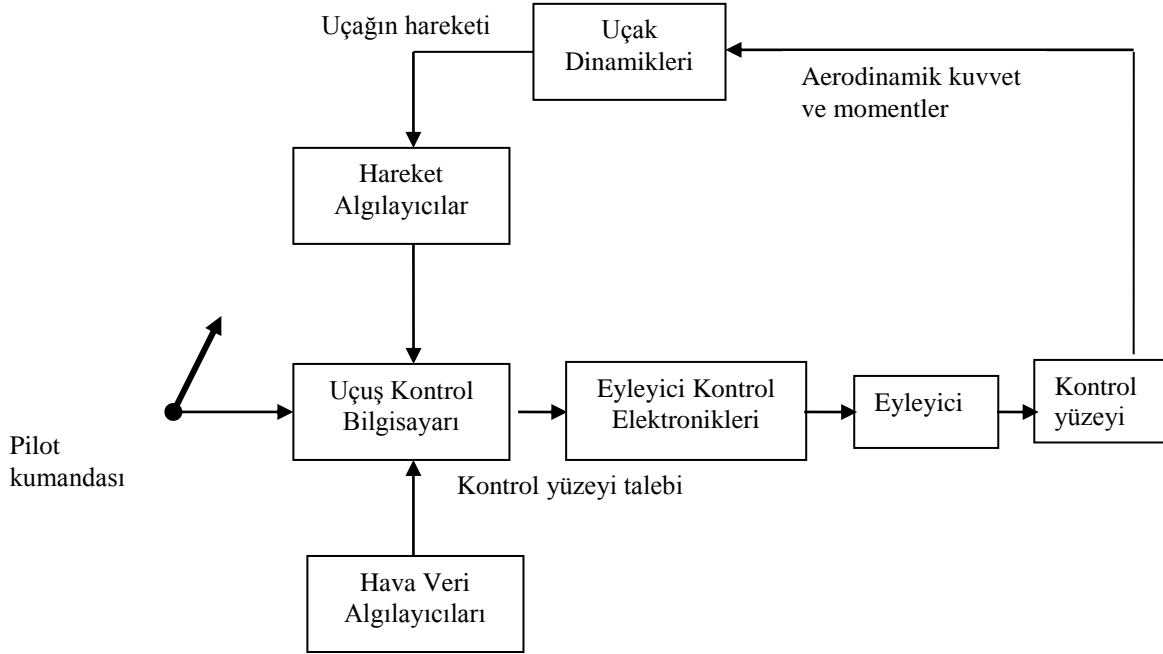
Bu durumda ise, i . algılayıcıda olabilecek bir arıza durumu aşağıdaki şekilde gösterilebilir ve karar aşamasında kullanılabilir:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_i(\mathbf{t}) &\leq \varepsilon_i \\ \mathbf{r}_j(\mathbf{t}) &> \varepsilon_j \quad \forall j \in \{1, 2 \dots i-1, i+1 \dots n\} \Rightarrow \mathbf{f}_{ai} \neq \mathbf{0} \Rightarrow i. \text{ algılayıcı arızası} \end{aligned}$$

Burada, ε_i ve ε_j eşik değerler olarak tanımlanmıştır.

3. UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ

Aktif uçuş kontrol teknolojisi; uçaklarda sistemi kontrol eden bilgisayarların kullanılması ve geniş bir ölçek aralığında taranan kontrol nicelikleriyle beraber son derece hızla gelişen bir alandır. Günümüzde, Airbus yolcu uçaklarında mekanik bağlantılı uçuş kontrol sistemlerinin yerini fly-by-wire dijital kontrol sistemi almıştır. Şekil 1'de, Airbus uçaklarında kullanılan fly-by-wire sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 1. Fly-by-wire sisteminin basitleştirilmiş gösterimi.

Fly-by-wire sisteminde, pilotun "stick" ile verdiği mekanik hareketler "transducer" ile elektrik sinyaline çevrilir. Uçuş kontrol bilgisayarı; bu hareketin uçağın limitleri dahilinde olduğunu kabul ederse, bu kontrol yüzeyi talebi, ilgili eyleyici elektroniklerine iletilir. Eyleyiciler, elektrikli olarak aldıkları sinyalleri, mekanik harekete çevirerek, bunlara bağlı olan kontrol yüzeylerini hareket ettirirler. Amaç, sadece bu yüzeyleri hareket ettirmek ve bu şekilde bırakmak olmadığından, bundan sonra kontrol yüzeylerinin hareketinden kaynaklanan yeni kuvvet ve momentlerin uçak dinamikleri ve dolayısıyla uçağın hareketini nasıl etkilediği hareket algılayıcıları ile sisteme tekrar bildirilir. Hareket algılayıcıları olarak cayraskop ve ivmeölçerler kullanılır. Cayraskoplar uçağın normal rotasından sapmasını hesaplarlar, ivmeölçerler ise, ivmelenme bilgisini hesaplarlar. Hava veri algılayıcıları uçağı saran hava akımından, hava akış miktarını yani hava basıncını algırlar. Genellikle pitot tüp olarak adlandırılırlar. Uçakta farklı bölgelerde basınçlar karşılaştırılarak hava hızı, irtifa, hücum açısı ve genel hareket karakteristikleri hesaplanır.

Uçak gibi karmaşık bir sistemin kontrolü zordur. Bu bakımdan gerçek sistem yerine onun matematik modeli kullanılarak bazı çözümler üretilebilir. Durum uzayında gösterim, kontrol teorisinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

Newton'un ikinci hareket yasasından elde edilen, doğrusal olmayan uçak hareket denklemleri, belli denge uçuşları etrafında Taylor serisi ile doğrusallaştırılarak Eşitlik (1) şeklinde durum uzayı formunda gösterilebilir. Doğrusallaştırılan uçak hareket denklemlerinin durum uzayı yaklaşımı kullanarak

gösterilmesi, girdi olarak seçilen kontrol yüzeyinin hareketinin her bir durum değişkenine etkisini gösteren transfer fonksiyonlarının oluşturulmasında büyük kolaylık sağlar [18].

En genel halde elde edilen bu denklemler, uzunlamasına ve yanlamasına hareket dinamiklerine ayrılarak incelenebilir.

3.1 Uçak Yanlamasına Hareket Kontrolü

Yanlamasına hareket durum değişkenleri ve kontrol girdisi Eşitlik (21)'de verilmektedir:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \beta \\ p \\ r \\ \phi \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} \delta_k \\ \delta_i \end{bmatrix} \quad (21)$$

Kararlılık türevlerinden oluşan \mathbf{A} ve \mathbf{B} matrisleri ise Eşitlik (22)'deki gibi tanımlıdır [11]:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} Y_v & 0 & -1 & g/U_0 \\ L'_\beta & L'_p & L'_r & 0 \\ N'_\beta & N'_p & N'_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & Y^*_{\delta_R} \\ L'_{\delta_A} & L'_{\delta_R} \\ N'_{\delta_A} & N'_{\delta_R} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Bu ifadelerde; β yana kayış açısı, p yatış açısal hızı, r sapma açısal hızı, ϕ yatış açısı, δ_k kanatçık açısı, δ_i istikamet dümeni açısı, $Y_v, L'_\beta, L'_p, L'_r, N'_\beta, N'_p, N'_r, Y^*_{\delta_R}, L'_{\delta_A}, L'_{\delta_R}, N'_{\delta_A}$ ve N'_{δ_R} ise ilgilenilen uçuş durumundaki kararlılık türevleridir.

4. Benzetim Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, önceki bölümde verilen uçağın yanlamasına hareket durum uzayı denklemleri kullanılarak gözleyici tasarlanacaktır. Bu amaçla seçilen geniş gövdeli bir yolcu uçağı modelindeki katsayılar matrisleri [11]

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -0.056 & 0 & -1 & 0.039 \\ -1.05 & -0.47 & 0.39 & 0 \\ 0.6 & -0.032 & -0.115 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0.012 \\ 0.14 & 0.15 \\ 0.008 & -0.48 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

şeklindedir.

\mathbf{A} durum katsayılar matrisinin özdeğerleri; $\lambda_1 = -0.0454 + 0.8087j$, $\lambda_2 = -0.0454 - 0.8087j$, $\lambda_3 = -0.5621$, $\lambda_4 = 0.0120$ olup, sağdaki tek bir kutup sebebiyle sistemin kararsız yapıda olduğu görülmektedir. Sistemin kararlı yapıda olmasını sağlayan bir durum geribesleme kazanç matrisi seçilerek, sistemin kararlı yapıya gelmesi sağlanmıştır. Bunun için seçilen durum geribesleme kazanç matrisi

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} -6.1901 & 0.8445 & 6.3872 & 0.4051 \\ 2.7725 & -0.1573 & -3.4317 & -0.0128 \end{bmatrix} \quad (24)$$

şeklinde dir.

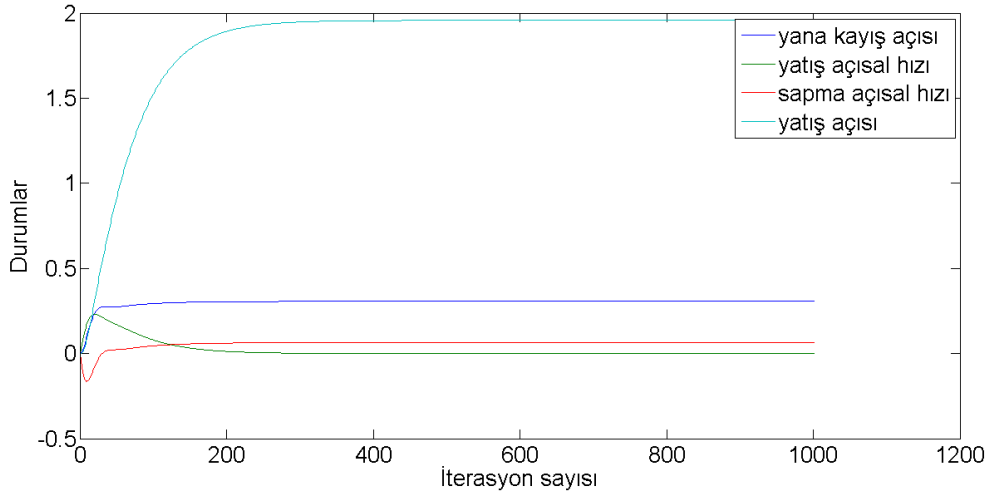
Bu durumda Eşitlik (25)'de verilen \mathbf{A} durum katsayılar matrisi yerine,

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{A} - \mathbf{BK} = \begin{bmatrix} -0.0893 & 0.0019 & -0.9588 & 0.0392 \\ -0.5993 & -0.5646 & 0.0105 & -0.0548 \\ 1.9803 & -0.1143 & -1.8133 & -0.0094 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

kullanılacaktır. Bu durumda, \mathbf{A}^* durum katsayılar matrisi özdeğerleri; $\lambda_1^* = -0.9277 + 1.0561j$, $\lambda_2^* = -0.9277 - 1.0561j$, $\lambda_3^* = -0.4180$, $\lambda_4^* = -0.1938$ olarak elde edilmiş olup, sistem kararlılığı sağlanmıştır.

Giriş olarak $\mathbf{u} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ uygulanmaktadır. \mathbf{C} matrisi, uçuş kontrol sisteminde tüm durumların doğrudan ölçülebildiği varsayılarak oluşturulmuş birim matristir.

Denklemler kullanılarak elde edilen gerçek sistem durumları, Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Gerçek sistem durumları.

Gözleyici kullanarak elde edilecek durum tepkileri için ise modeldeki \mathbf{F} ve \mathbf{T} matrisleri,

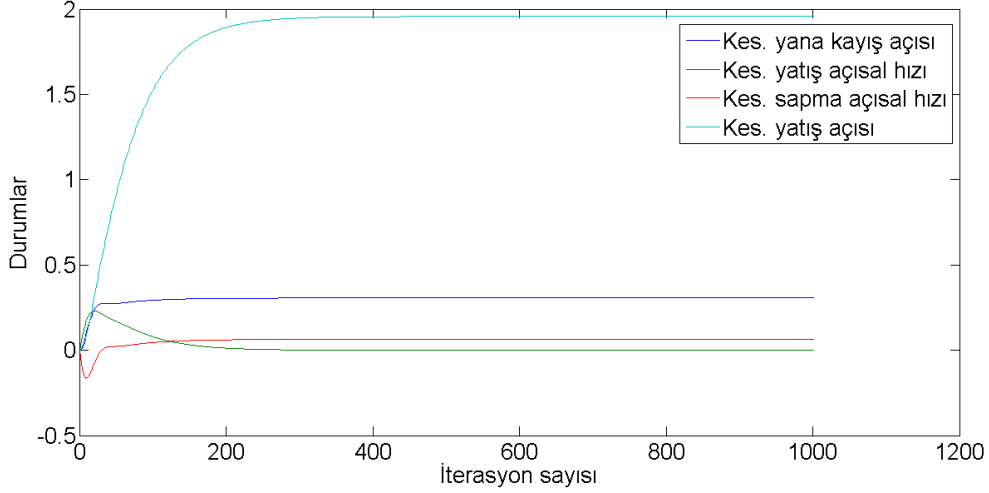
$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} -10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -10 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

şeklinde seçilmektedir.

Bu matrisler, gözleyici temel denklemlerinde yerine yazılarak \mathbf{G} ve \mathbf{L} matrisleri,

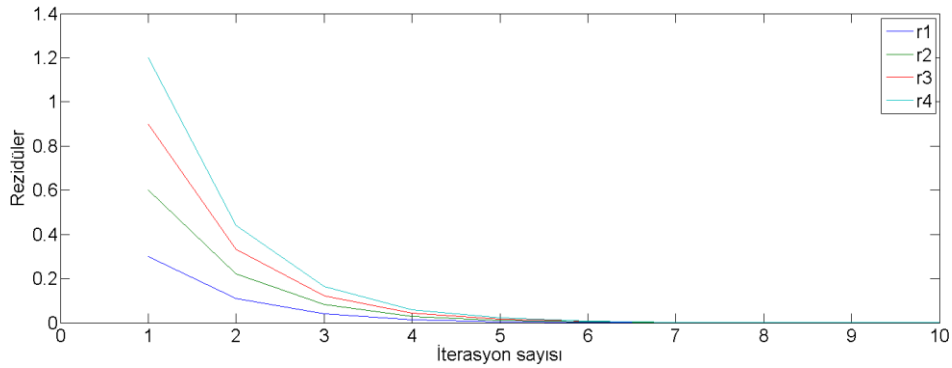
$$G = \begin{bmatrix} 9.9107 & 0.0019 & -0.9588 & 0.0392 \\ -0.5993 & 9.4354 & 0.0105 & -0.0548 \\ 1.9803 & -0.1143 & 8.1867 & -0.0094 \\ 0 & 1 & 0 & 10 \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} 0 & 0.012 \\ 0.14 & 0.15 \\ 0.008 & -0.48 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

olarak bulunmaktadır. Gözleyicinin başlangıç koşulları $[0.3; 0.6; 0.9; 1.2]$ seçilerek elde edilen kestirilmiş durum tepkileri ise, Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Gözleyicinin kestirdiği durumlar.

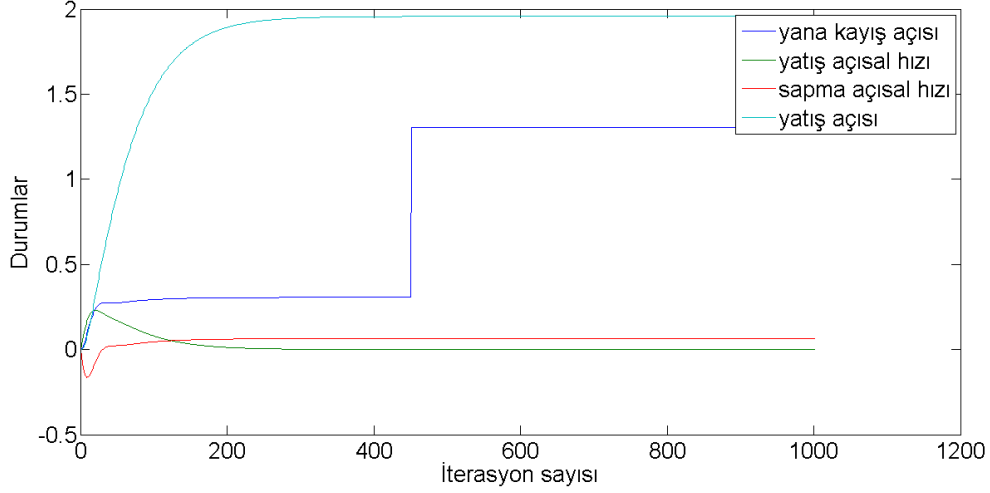
Gözleyicinin hesapladığı çıkışların sistemin gerçek çıkışlarına yakınsadığını göstermek açısından her bir rezidü, Şekil 4’deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4. Rezidüleri.

Tüm rezidüleri, Şekil 4’de görüldüğü üzere sıfıra yakınsadığı, dolayısıyla gözleyicinin, sistem durumlarını doğru olarak kestirdiği görülmüştür. Bu durum aynı zamanda gözleyicinin arıza tespitinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

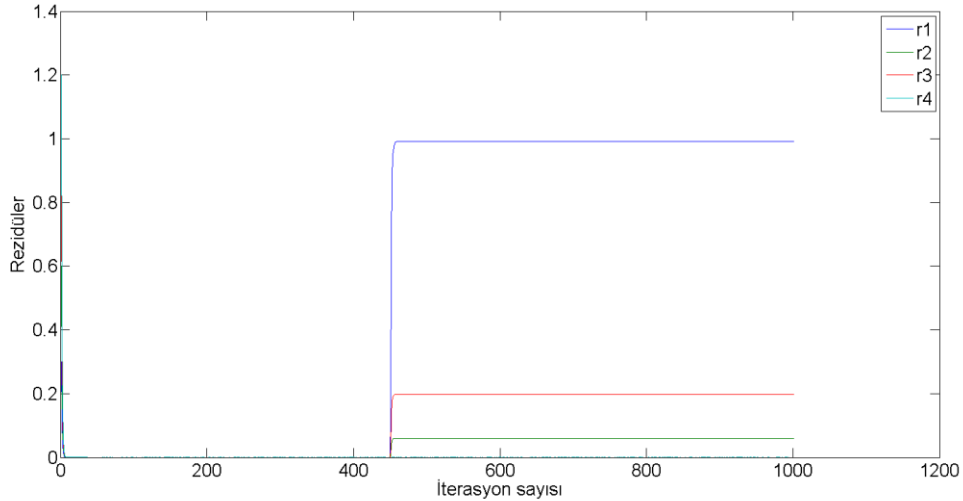
Senaryo gereği algılayıcı arızası, $[0 \ 1000]$ aralığında herhangi bir iterasyon zamanında üretilmektedir. Algılayıcı arızası oluşturulması senaryosu, çıkışlardan bir tanesinin değerinin rasgele olarak değiştirilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. Senaryo örneği için gerçek sistemin durum tepkileri, Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 5. Gerçek sistemin arızalı durum tepkisi.

Şekil 5’de, 450. iterasyon adımından sonra 1. durum değişkeni olan yana kayış açısında ani bir değişim olduğu görülmektedir. Bu durum arıza olarak ele alınmaktadır.

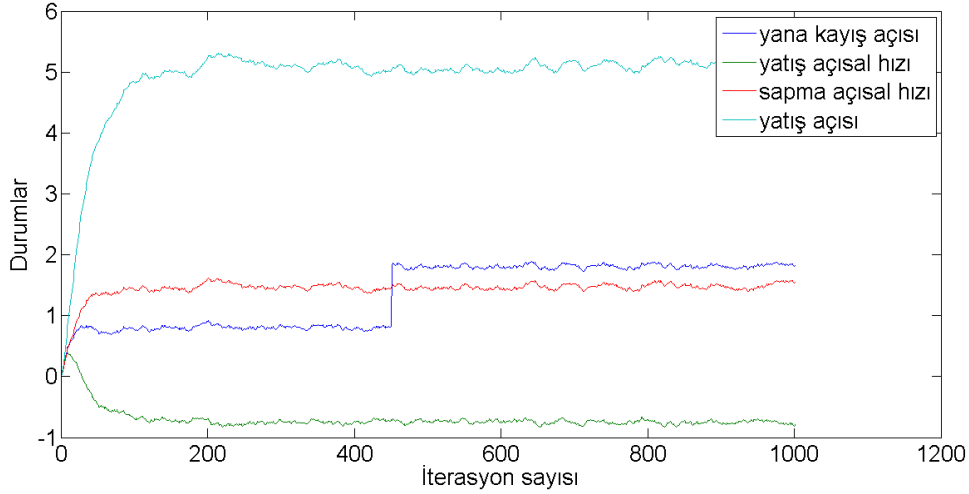
AGY arıza ayırımı yöntemi kullanılarak rezidü benzetimleri Şekil 6’daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6. AGY ile arıza ayırımı.

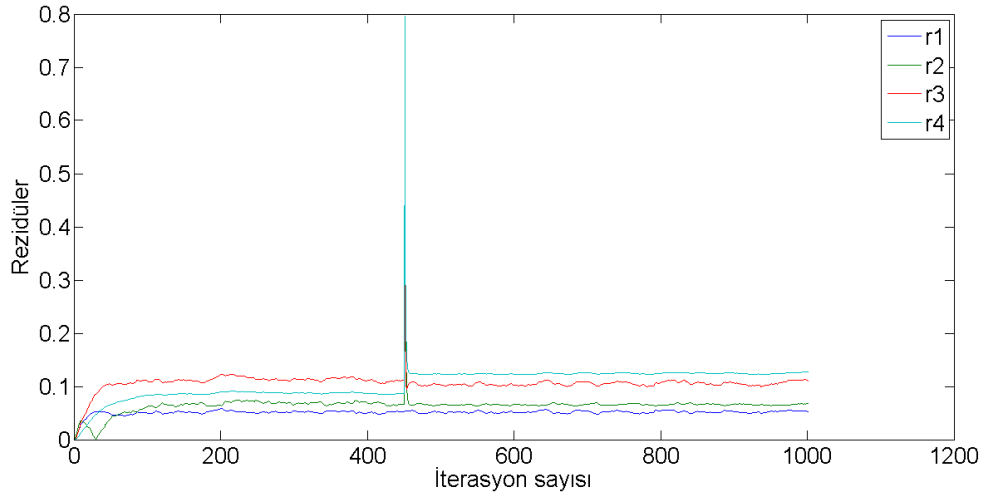
Şekil 6’da 450. iterasyon adımından sonra rezidülerde genel itibariyle bir artış olmuştur. Burada en büyük artış olan yana kayış açısı ile ilgili olan rezidü, arızanın yeri konusuna işaret etmektedir. Bu durum ise uygun bir eşik değer seçilerek belli değeri aşan durumların değerlendirmeye alınması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 7’de ise, sisteme bilinmeyen küçük girişlerinde etki ettiği ve algılayıcı arızasının olduğu senaryo ele alınmıştır.



Şekil 7. Gerçek sistemin bilinmeyen küçük girişlerinde etki ettiği durum tepkisi.

Şekil 7'de, 450. iterasyon adımından sonra yana kayış açısını ölçen algılayıcının arıza yaptığı görülmektedir. Bilinmeyen giriş gözleyici GGY yöntemine göre arıza tespiti ve ayrımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de GGY yöntemi ile elde edilen rezidüel verilmektedir.



Şekil 8. GGY ile arıza ayrımı.

Şekil 8'de, 450. iterasyon adımından sonra r1, r2 ve r3 rezidüelinde artış olmuştur. r4 rezidüsünde ise arıza anından sonra herhangi bir artış olmamıştır. GGY yöntemine göre, bu durum 450. iterasyon adımından sonra yana kayış açısını ölçen algılayıcının arıza yaptığına işaret etmektedir. GGY yönteminin en büyük avantajı, arıza etkisinin birden fazla rezidü üzerinde etkisinden dolayı arızayı tespit etme ve ayrımında daha sağlıklı olarak kullanılabilir olmasıdır. Ayrıca AGY yönteminde arızaya karar verilecek minimum eşik değerin iyi seçilmesi önem arz etmektedir. Eşik değerin iyi seçilememesi durumunda yanlış tespitler yapılabilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada yanlamasına uçuş kontrol sisteminde olabilecek algılayıcı arızalarının tespiti ve ayrımı Matlab/Simulink programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algılayıcı arızalarının tespitinde tam mertebe gözleyici ve bilinmeyen giriş gözleyicisi kullanılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. Bilinmeyen giriş gözleyicisi, tam mertebe gözleyiciden farklı olarak yanlamasına uçuş kontrol sistemine etki eden küçük bilinmeyen girişlerin varlığına rağmen başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrım tertibatında ise tam mertebe

gözleyici ile AGY yöntemi bir arada kullanılmıştır. Benzetim sonuçları, burada arıza tespitinde kullanılacak eşik değerin belirlenmesinin çok önemli olduğunu göstermektedir. Yanlış bir eşik değerin seçilmesi durumunda algılayıcı arızalarının belirlenmesinde yanlış kararların verilebileceği görülmüştür. Ayrıca, arızalı algılayıcı ile ilişkisi olmayan diğer rezidülerdeki artış da bir başka problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, bir başka arıza ayırım yöntemi olan bilinmeyen giriş gözleyici ile GGY yönteminin bir arada kullanıldığı yaklaşım, yanlamasına uçuş kontrol sistemi üzerinde denenmiştir. Bilinmeyen küçük girişlere rağmen algılayıcı arızalarının tespiti ve ayırımı örnek durum benzetimleri ile verilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Hacıyev, C. M., Caliskan, F., 1999, "Fault detection in flight control systems based on the generalized variance of the Kalman filter innovation sequence", American Control Conference, Volume:1, San Diego, CA, 109 – 113
2. Oosterom, M., Babuska, R., 2000, "Virtual sensor for fault detection and isolation in flight control systems - fuzzy modeling approach", IEEE Conference on Decision and Control, 2645 – 2650, vol. 3
3. Azam, M., Pattipati, K., Allanach, J., Poll, S., Patterson-Hine, A., 2005, "In-flight fault detection and isolation in aircraft flight control systems", Aerospace Conference, 3555 – 3565, Big Sky, MT
4. Jayakumar, M., Das, B. B., 2006, "Fault Detection, Isolation and Reconfiguration in Presence of Incipient Sensor Faults in an Electromechanical Flight Control Actuation System", IEEE International Conference on Industrial Technology, 92 – 97, Mumbai
5. Liu J., Jiang B., Zhang Y., 2007, "Sliding Mode Observer-Based Fault Detection and Isolation in Flight Control Systems", IEEE International Conference on Control Applications, 1049 – 1054, Singapore
6. Williams, T. J., 1960, "Process Control and Automation", Vol. 52, No. 2
7. alışkan, F., 2006, "Fault Tolerant Control Systems", Lecture Notes, İTÜ
8. Ammar, N., 2000, "Robust Fault Detection By Simultaneous Observers", Master's Thesis, Bilkent University
9. Stevens, B. L., Lewis, F. L., 1992, "Aircraft Control And Simulation", USA
10. Blanke, M., Kinnaert, M., Lunze, J., Staroswiecki, M., 2003, "Diagnosis and Fault-Tolerant Control", Springer
11. Mclean, D., 1990, "Automatic Flight Control Systems", Prentice-Hall
12. Solak, E., 2001, "Observability And Observers For Nonlinear And Switching Systems", Bilkent University, Ph. D. Thesis
13. Chen, J., Patton, R. J., 1999, "Robust Model-Based Fault Diagnosis For Dynamic Systems", Kluwer Academic Publishers, USA
14. Guan, Y., Saif, M., 1993, "A New Approach to Robust Fault Detection and Identification", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 29

15. Guan, Y., Saif, M., 1991, "A Novel Approach To The Design Of Unknown Input Observers", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 36
16. Guan, Y., Saif, M., 1990, "Robust Fault Detection in Systems with Uncertainties", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 33
17. Hou, M., Müller, P. C., 1992, "Design of Observers for Linear Systems with Unknown Inputs", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 37
18. Işık, Y., 2006, "Genetik Algoritma Tabanlı Bulanık Kontrolün Uçuş Kontrol Sistem Tasarımına Uygulanması", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir