

DIKEY RÜZGÂR ALTINDA YÜKSEK HIZLI SABİT KANATLI MİNİ BİR İHA İÇİN GÜRBÜZ KONTROLCÜ TASARIMI

Mesut Bilici¹
Necmettin Erbakan Üniversitesi/Konya

Mehmet Karalı²
Necmettin Erbakan Üniversitesi/Konya

ÖZET

Yüksek Hızlı İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), manevra kabiliyetinden ödün vermeden yüksek hızlar elde etmeleri sebebiyle günümüz havacılık teknolojisinde ilginç bir çalışma konusu olmaya adaydır. Bu çalışmada özellikle dalış manevralarında 400 km/saat hıza ulaşabilen ve 1.2 metre kanat açıklığına sahip sabit kanatlı elektrik motorlu mini bir İHA için H_∞ gürbüz kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yüksek hızlar için tasarımı yapılan İHA'nın aerodinamik veri seti Xflr5 ve USAF DATCOM yazılımları kullanılarak elde edilmiştir. İHA'nın doğrusal olmayan hareket denklemleri sabit irtifalı seyir uçuşu için bazı kabuller ile doğrusallaştırılarak durum-uzay matrisleri bulunmuştur. Farklı elevator sapma açıları bozukluklarına karşı düzlemsel yönde doğal kararlılığı tespit edilen İHA'nın yunuslama açısı için elevatöre bağlı transfer fonksiyonu durum-uzay matrisleri yardımı ile elde edilmiştir. Söz konusu bu transfer fonksiyonları ile karma hassasiyet metodu kullanılarak irtifayı istenilen değerde tutmayı sağlayan H_∞ gürbüz kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kontrolcünün pozitif dikey yönden esen 5 m/s rüzgâr altında referans yunuslama açısına verdiği cevap ve bu cevabı için elevatörün almış olduğu sapma açısı grafiksel olarak yansıtılmıştır. Son olarak, ani ve zorlayıcı bir manevra için kontrolcünün performansı ve elevatörün almış olduğu sapma açısı değerleri incelenmiştir.

GİRİŞ

Havacılık teknolojisinin geliştirilmesine yönelik artan talepler yeni bir akıllı ekipman türü olan İnsansız Hava Araçlarının (İHA'lar) askeri ve sivil sektörlerde yaygın olarak ilgi görmesine ve uygulanmasına öncülük etmektedir. İHA'lar, çok çeşitli alanlarda yüksek verimlilik ve doğrulukla çalışan pratik ve düşük maliyetli araçlar olarak dikkat çekmektedir [Mirza, 2016]. Hem operasyon masraflarını, hem insan kaynaklarını hem de insan hayatına ve çevreye yönelik riskleri önemli ölçüde azalttıkları için birden fazla alanda önem kazanırlar [Jordan, 2021]. Sahip olduğu birçok avantaj nedeniyle düşük maliyetli ve küçük boyutlu İHA'ların kullanımının da giderek artacağı öngörülmektedir [Huang, 2013]. Bu bağlamda, İHA'ların kontrolü ve dinamik modellemesi hala önemli çaba gerektirmektedir [Ducard, 2021].

Son zamanlarda sıklıkla kullanılan bu araçların otomatik kontrolü için birçok yöntem geliştirilmektedir. Lineer Kuadratik Regülatörler (LQR), bu kontrolcüler arasında en sık kullanılan ve tercih edilen kontrolcü tekniklerinden biridir [Hajiyev, 2013]. Diğer yandan, bir sistem nominal tasarım durumundan saptığında ve/veya dış etkenlere maruz kaldığında, yeterli performansı ve aynı zamanda kararlılığı sağlamak için gürbüz kontrolcü yöntemine başvurulmuştur [Zarzar, 2008]. Gürbüz kontrolcülerden özellikle sabit kanatlı İHA'lar için H_∞ yaklaşımı uygulanan yöntemlerden biridir. Yapılan bir çalışmada gürbüz bir H_∞ kontrolcüsü, sensör gürültüsü ve bozucu etkiler altında İHA olarak kabul edilen çeyrek ölçekli Piper J3-Cub modeli için tasarlanmıştır [Uyulan, 2019].

¹ Araştırma Görevlisi, Uçak Müh. Böl., E-posta: mbilici@erbakan.edu.tr

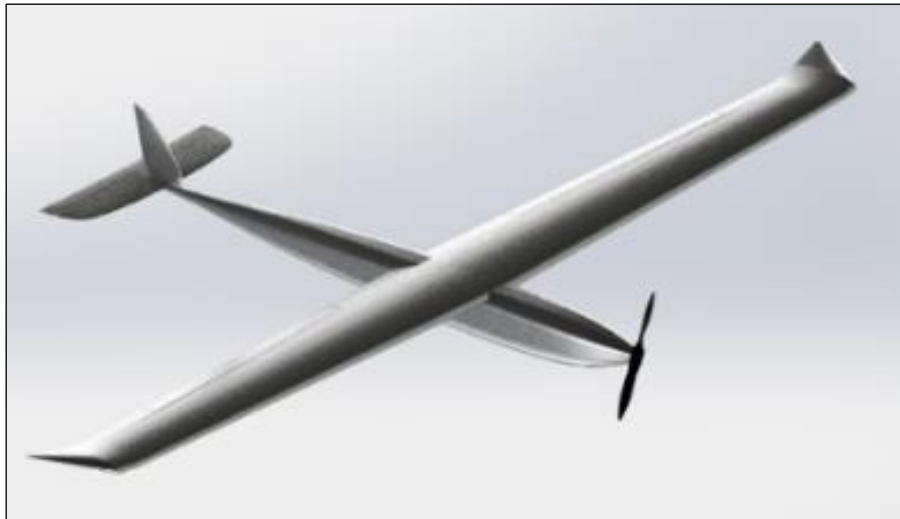
² Prof. Dr., Mekatronik Müh. Böl., E-posta: mkarali@erbakan.edu.tr

Tasarlanan kontrolcü gürültüyü ve bozucu etkileri başarılı bir şekilde sönmülemeyi başarmıştır. Başka bir çalışmada sabit kanatlı İHA için H^∞ kontrolcüsü tasarlanmış ve İHA istenilen referans değeri yüksek performans ile başarılı bir şekilde takip etmiştir [Lopez, 2015]. Dulau ve arkadaşları [Dulau, Oltean 2020], kontrol sisteminin kararlılığı ve performansı arasında bir denge mekanizması olarak kullanılan ağırlık fonksiyonlarının esnek sistemlerinin toplam performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Şayet İHA'dan düşük performanslı bir takip istenirse kontrol yüzeylerinin hareketleri sınırlandırılabilir. Takip performansının yükseltilmesi istenirse kontrol yüzeylerine dolayısıyla servo motorlara binen yük artırılır. Bahsi geçen söz konusu tüm bu çalışmalarda tasarlanan kontrolcüler standart seyir ve maksimum hızlara sabit yüksek kararlılığa sahip İHA'lardır.

Bu çalışmada, özellikle aşağı-dalış manevralarında 400 km/saat hıza ulaşabilen yüksek hızlı sabit kanatlı bir mini İHA için gürbüz kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. İHA, genellikle uçak model yarışlarında kullanılan sabit kanatlı modellerden ilham alınarak tasarlanmıştır. Her ne kadar model uçaklar İHA sınıfında kabul edilmese de bu çalışmada, hibrit bir tasarım araştırma konusu olarak seçilmiştir ve elektrik motorlu sabit kanatlı yüksek hızlı bir mini İHA'nın gürbüz kontrolcü tasarımı ile otomatik kontrolü sağlanmıştır. İHA'nın tasarımı düşük sürüklenme kuvveti ve yüksek hız hedefli gerçekleştirilmiştir. İHA'nın aerodinamik veri seti Xfr15 ve USAF DATCOM yazılımları ile geniş bir uçuş rejiminde elde edilmiştir. Durum-uzay matrisleri MATLAB'da geliştirilen bir kod yardımı ile hesaplanarak elevator/yunuslama açısı transfer fonksiyonu hesaplanmıştır. Karma hassasiyet H^∞ gürbüz kontrolcüsü için ağırlık fonksiyonları belirlenmiş ve sisteme etki eden en yüksek bozuklukları yüksek performans ve yeterli kararlılıkla sönmüleyen K kontrolcü değeri hesaplanmıştır. Kontrolcünün dikey pozitif yönden esen 5 m/s büyüklüğündeki rüzgâr altında referans takibi ve bu takip için elevatörün aldığı sapma açısı değerleri grafiksel olarak yansıtılmıştır ve değerlendirilmiştir. Ayrıca kontrolcünün referans takip için ürettiği hata miktarı da zamana göre irdelenmiştir.

YÜKSEK HIZLI MİNİ İHA

Bu çalışmada ele alınan hava aracı, özellikle dalış manevralarında yüksek hızlara ulaşmak için tasarlanmış, yüksek hızlı, sabit kanatlı, elektrik motoru ile tahrik edilen bir mini-İHA'dır (Şekil 1). Mini-İHA, belirli miktardaki faydalı yükü taşımak için yeterli kaldırma kuvvetine ve istikrarlı uçuş özellikleri sağlamak için nispeten geniş bir kanat alanı ile yüksek en-boy oranına sahip 1.2 m uzunluğunda bir kanat açıklığına sahiptir. Modifiye edilmiş kanat profili, düşük hızlarda yeterli taşıma kuvveti ve kararlı uçuş sağlarken, yüksek hızlarda düşük sürtünme ve harika bir rüzgâr penetrasyon kabiliyeti sağlamaktadır. Kanat ucuna doğru artan dihedral açısı, kanat ucu girdaplarını azaltmaktadır. Kanat ve dengeleyiciler, toplam sürtünmeyi en aza indirecek şekilde aynı hizaya yerleştirilmiştir. Gövde, küçük bir ön alana ve kare benzeri bölümlere sahiptir, kolayca üretilebilir ve yeterli hacme sahiptir. Mini İHA'nın maksimum kalkış ağırlığı, 200 gram faydalı yük ile birlikte 1.1 kg'dır. Dikey dengeleyici, aracın toplam sürtünmesini azaltmak için yeterli dümen (rudder) verimliliğine sahiptir. Tasarlanan mini-İHA'nın özellikleri Tablo 1 ile verilmiştir.



Şekil 1: Mini İHA

Kanat açıklığı [mm]	Kanat alanı [m ²]	Açıklık oranı	En yüksek hız [m/s]
1200	0.144	9.98	111
Maximum kalkış ağırlığı [N]	Kanat profili	Taper oranı	Twist açısı [°]
10.79	Mh-30 modifiye	0.067	-1.5

Tablo 1: Mini İHA özellikleri

Doğrusal Olmayan İHA Modeli

Sabit bir referans eksen takımı için formüle edilen bir dizi denklem, sabit kanatlı uçak dinamiği için doğrusal olmayan modeli destekler [Nicolosi, 2013]. Ayrıca sistemin tam olarak anlaşılması ve kontrol edilmesindeki ana aşama, mini-İHA'nın doğru bir matematiksel modelinin elde edilmesidir. x-y-z gövde referans eksen takımı için Newton'un hareket denklemleri sabit kanatlı bir uçak için Denklem 1'deki gibi yazılabilir.

$$m(\dot{u} + qw - rv) = \sum F_x \quad (1a)$$

$$m(\dot{v} + ur - pw) = \sum F_y \quad (1b)$$

$$m(\dot{w} + pv - qu) = \sum F_z \quad (1c)$$

Bu denklemlerde F_x , F_y ve F_z , aerodinamik, yerçekimi ve itki kuvvetleri gibi gövde eksen takımına göre etki eden dış kuvvetlerdir. p, q, r açısal hızları temsil eder ve u, v, w x-y-z eksenlerindeki hız değerleridir. Diğer yandan, Newton'un ikinci yasası kullanılarak dönme hareket denklemleri de yazılabilir (Denklem 2).

$$\dot{p}I_{xx} = \sum L + I_{xz}(\dot{r} + pq) - (I_{zz} - I_{yy})qr \quad (2a)$$

$$\dot{q}I_{yy} = \sum M - (I_{xx} - I_{zz})pr - I_{xz}(p^2 - r^2) \quad (2b)$$

$$\dot{r}I_{zz} = \sum N + I_{xz}(\dot{p} - qr) - (I_{yy} - I_{xx})pq \quad (2c)$$

Bu denklemlerde L, M, N aerodinamik momentleri ifade eder, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} eylemsizlik momentleridir ve uçuş kararlılığı için önem arz etmektedir.

Doğrusal Olmayan İHA Modelinin Doğrusallaştırılması

Sabit kanatlı uçak dinamiği için doğrusal olmayan model, gövde eksen takımı için yazılmış bir dizi denkleme bağlıdır [Dündar, 2020]. Newton'un hareket denklemleri x-y-z eksenindeki gövde eksen takımı referans alınarak doğrusallaştırılabilir. Sabit kanatlı İHA'lar doğası gereği uçuşlarının büyük çoğunluğunda doğrusal olduğundan, Küçük Bozulma Teorisi kullanılır ve sabit irtifa denge uçuşu için doğrusal olmayan hareket denklemleri doğrusallaştırılır. Bu kabuller ve şartlar altında uzunlamasına (longitudinal) doğrusallaştırılmış hareket denklemleri türetilmiştir (Denklem 3).

$$\Delta \dot{u} = X_u \Delta u + X_\alpha \Delta \alpha + X_{\delta_e} \Delta \delta_e - g \Delta \theta \quad (3a)$$

$$\Delta \dot{\alpha} = \Delta \dot{\theta} + 1/V [Z_u \Delta u + Z_\alpha \Delta \alpha + Z_{\delta_e} \Delta \delta_e] - g/V \theta_0 \Delta \theta \quad (3b)$$

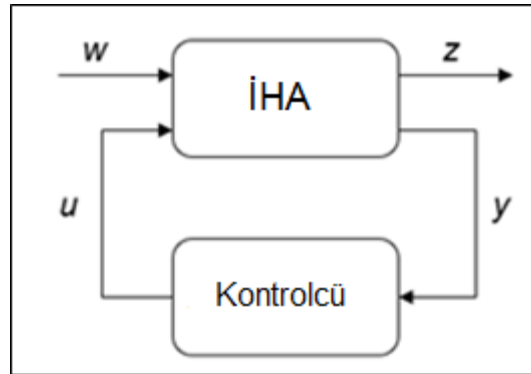
$$\Delta \ddot{\theta} = M_u \Delta u + M_\alpha \Delta \alpha + M_q \Delta \dot{\theta} + M_{\delta_e} \Delta \delta_e \quad (3c)$$

Burada $X_u, X_\alpha, X_{\delta_e}, M_u, M_\alpha, M_{\delta_e}, Z_u, Z_\alpha, Z_{\delta_e}$ x eksen yönündeki hız (u), hücum açısı (α) ve elevator sapma açısı (δ_e) için kuvvet ve moment kararlılık türevleri (stability derivatives) olarak adlandırılmaktadır.

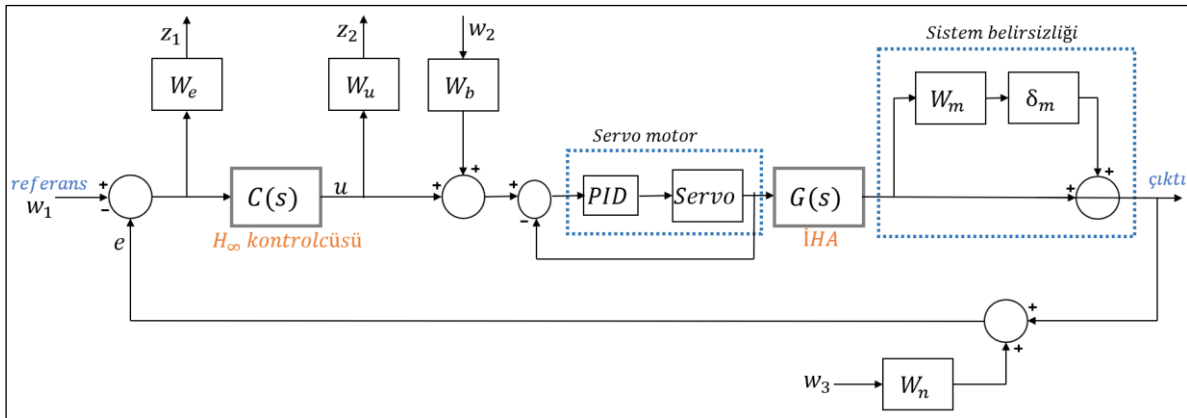
GÜRBÜZ KONTROLCÜ TASARIMI

Gürbüz kontrolcüler klasik kontrolcülere kıyasla sistem belirsizlikleri, harici bozukluklar ve gürültü gibi faktörleri göz önünde bulundurarak çalışan kontrolcülerdir. Sistem yapısındaki bozulmalar ve belirsizlikler, geleneksel kontrol yöntemlerinin performansını düşürür. Oysa gürbüz kontrolcülerde en yüksek bozukluk ve gürültü ihtimali tasarım aşasında dikkate alındığından performans düşüşü

daha azdır. Gürbüz kontrolcüler için genel kontrol problemi Şekil 2'deki gibi gösterilir. Burada w dış sinyalleri temsil eder, z izleme ve sinyal tahmin hataları gibi dış çıktıları gösterir, y ölçümlerdir ve u kontrol sinyallerini tanımlar [Euston, 2008]. Ağırlık fonksiyonları, kontrolcünün performansı ve kararlılığı arasında takas imkânı sağlayan transfer fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlarının seçimi referans takibi, gürültü sönümlenme veya bozukluk giderme isteklerine göre değişir [Johnson, 2014]. Üzerinde çalışılan araç yüksek hızlı ve manevralı bir İHA olduğundan kontrolcünün performansının yüksek olması daha önemli bir gereksinimdir. Bu sebeple performans ağırlık fonksiyonu (W_e) daha büyük olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca elevatorü hareketlendirecek servo motorun modeli de sisteme dâhil edilmiştir. Tasarlanan gürbüz kontrolcünün detaylı blok şeması Şekil 3'te verilmiştir. Birçok gürbüz kontrolcü tasarımı yüksek hızlı İHA'lar için uygundur. Bu çalışmada ise karma hassasiyet H^∞ gürbüz kontrolcüsü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi yüksek referans takibinin daha önemli bir gereksinim olması sebebi ile kontrolcünün kararlılığının düşürülmesi gerektiğidir.



Şekil 2: Genel gürbüz kontrolcü problemi



Şekil 3: H^∞ karma hassasiyet gürbüz kontrolcü blok diyagramı

Şekil 3'de gösterilen ağırlık fonksiyonlarının tanımları ve diğer detaylar Tablo 2'de açıklanmıştır. Hata ağırlık fonksiyonu kontrolcünün referans takibi, kontrol yüzeyi hareket limiti ağırlık fonksiyonu ise elevatorün sapma açısı büyüklüğünü temsil etmektedir.

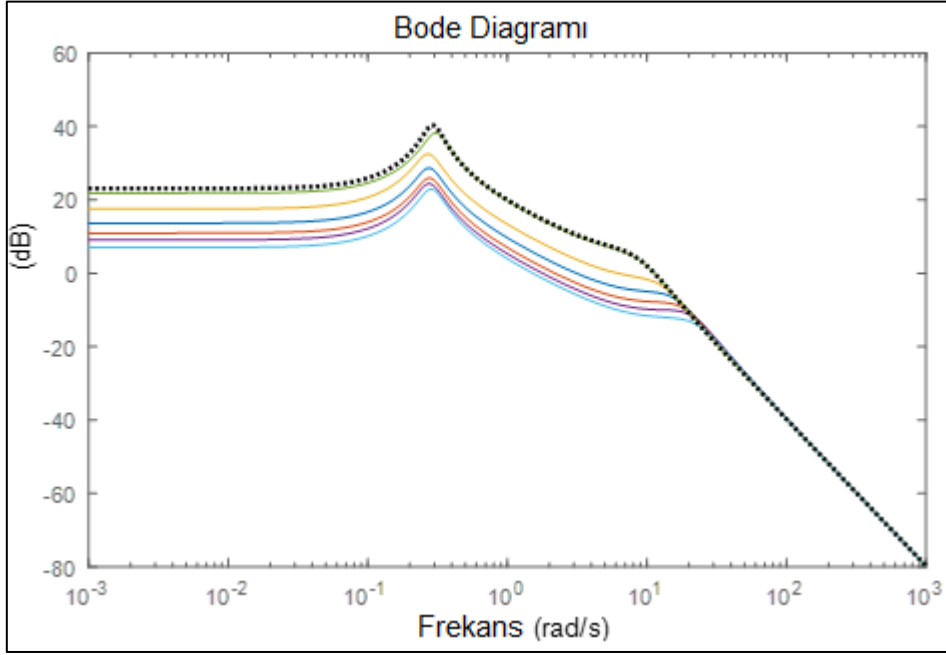
W_e	Hata ağırlık fonksiyonu
W_u	Elevatör hareket limiti ağırlık fonksiyonu
W_b	Bozukluk ağırlık fonksiyonu
W_m	İHA model belirsizliği
w_1	Referans
w_2	Rüzgar girdisi
w_3	Gürültü girdisi
z_1	Hata çıkışı
z_2	Kontrol çıkışı

Tablo 2: Karma hassasiyet blok diyagramı açıklamaları

Karma hassasiyet H^∞ kontrol yaklaşımı, tasarım özelliklerinin sistemin H^∞ normuna göre belirtildiği, aynı zamanda hem kararlılığı sağlayan hem de hassasiyeti azaltan bir yöntemdir. Bu teknik, performans ve kararlılık arasında bir denge kurmanın etkili yollarından biridir [Gahinet, 2015]. Matematiksel olarak kontrolcü, uygun ve uygulanabilir olacak şekilde dış sinyaller arasındaki transfer fonksiyonunun H^∞ normunu en aza indirmeyi amaçlar.

Model Belirsizliği

Model belirsizliği, matematik modellemeler sırasında yapılan ihmaller ve aerodinamik veri setinin elde edilmesindeki hataları kapsamaktadır [Mofid, 2021]. Model belirsizliği, elde edilen değere göre aerodinamik verilerin $\pm 25\%$ oranında yer değiştirmesi ile belirlenir. Tüm aerodinamik belirsizlikleri kapsayan en büyük değer, Şekil 4'te verilen Bode diyagramlarının en büyüğü ile elde edilir (noktalı grafik). Statik düzlemsel kararlılık türevleri boylamasına hareketi etkileyen en kritik aerodinamik katsayılarıdır. Bu nedenle, model belirsizliğini belirlemek için bu katsayıların belirli oranda hatalı elde edildiği varsayılır. Böylece yüksek hızlı mini-İHA için model belirsizliği tanımlanmış olur.



Şekil 4: Model belirsizliği için aerodinamik katsayıların elde hatasına göre Bode diyagramı

Ağırlık Fonksiyonları

Tasarlanan gürbüz kontrolcünden istenilen performansı elde etmek için ağırlık fonksiyonları ($W_g(s)$) Denklem 4'te verildiği gibi bulunur. Burada, X , hassasiyet işlevi gibi sistemin bir işlevini temsil eder. Ağırlık fonksiyonları seçildikten sonra bunların tersi ilgili fonksiyonun Bode diyagramının üzerinde kalıp kalmadığı kontrol edilir (Şekil 4).

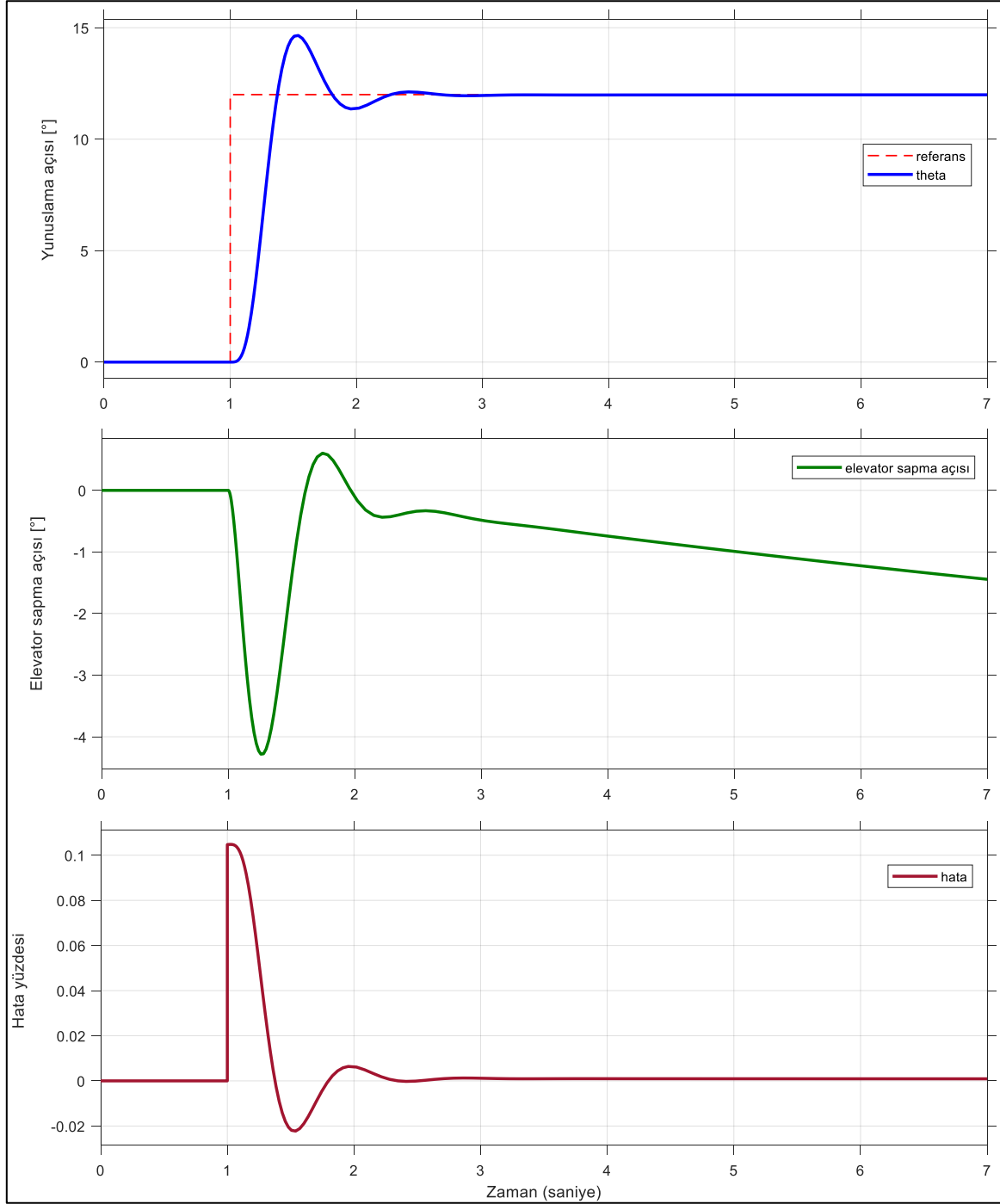
$$\|W_g X\|_\infty < 1, \quad X(j\omega) < 1/W_g(j\omega) \quad (4)$$

Ağırlık fonksiyonları seçilirken sistemin elektronik ve mekanik kısıtlamaları değerlendirilmelidir. Bunu yaparken kontrolcünün kararlılığı ve performansı arasında bir optimizasyon yapılır. Yüksek hızlı İHA aynı zamanda yüksek manevra kabiliyetine sahip olduğundan, kontrolcünün referans takibi yüksek başarılı olmalıdır. Bu nedenle, sistemin minimum kararlılığını sağlayan ağırlık fonksiyonları seçilir [Amin, 2016].

Kontrolcü Tasarımı

İHA'yı aynı irtifada tutulmaya çalışarak düzlemsel yöndeki hareketin kontrolünü sağlamak amaçlanmıştır. Temelde gerçekleştirilen tasarım, mini-İHA'yı gürbüz kontrolcünün referans açısını takibi, bu açı için gereken elevatör eforu ve 5 m/s pozitif dikey rüzgar altındaki kontrolcünün hata miktarı olarak incelenmiştir (Şekil 5). Tasarlanan H^∞ gürbüz kontrolcü, 12 derecelik referans

açısına %23'lük bir aşma ile hızlı yanıt vermiştir. Oturma süresi (settling time) 1.82 saniyedir ve kararlı durum hatası (steady-state error) 0.01'den azdır. Gürbüz kontrolcünün salınım tepkisi, hızlı performans ve nispeten düşük kararlılıktan kaynaklanmaktadır. Mini-İHA'nın yunuslama açısını 12 derecede tutabilmesi için elevatör sapma açısı 3.7 derecede sabitlenmiştir. Elevatördeki küçük sayılabilecek verimlilik, elevatör yüzey alanının nispeten küçük tutulması ile alakalıdır. Elevatör sapma açısı aldığında sürüklemenin düşük kalması için menteşe noktası yatay dengeleyicinin %80'ine yerleştirilmiştir. Ayrıca, kontrolcünün hata yüzdesi 0.01'den azdır.



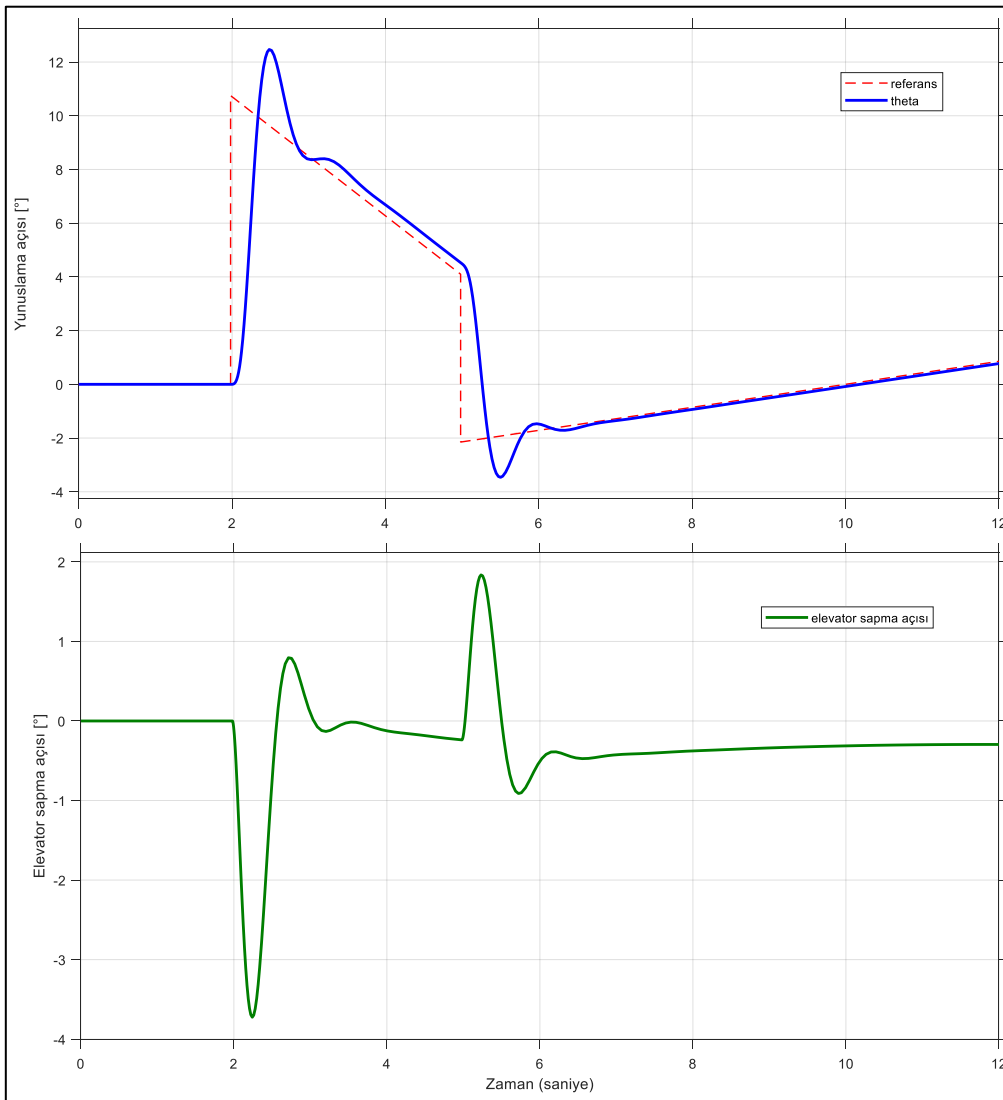
Şekil 5: Yunuslama açısı için kontrolcü cevabı, elevatör eforu ve hata oranı

Tasarlanan yunuslama açısı kontrolcüsünün performansının incelendiği bir başka araştırma da agresif manevralara verilen cevaptır (Şekil 6). Zorlayıcı bir yunuslama referans açısı için kontrolcünün cevabının başarılı olduğu tespit edilmiştir. Kontrolcü, referansı hızlı ve doğru bir şekilde takip ederek agresif manevrayı başarıyla tamamlamıştır. Ayrıca, bu manevra için kararlı durum hatası (steady-state error) 0,1'den küçük olarak gözlemlenmiştir.

Kontrolcünün agresif manevrayı takip ederken elevatörün aldığı sapma açısı değerleri de Şekil 6'da sunulmuştur. Böylesi yüksek manevra gerektiren bir referans takibi için elevatörün 0,2 saniyede yaklaşık olarak 4 derece sapma açısı alması gerekmektedir. Bunun için elevatörü hareketlendiren servo motorun yüksek torklu ve hızlı tepkili olması gerekmektedir. Servo motor için seçilen transfer fonksiyonu Denklem 5'te verilmiştir.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{95.53}{s^2 + 15.65s + 95.53} \quad (5)$$

Kontrolcünün referans takiplerine verdiği cevaplar içerisinde dikey pozitif yönden esen 5 m/s büyüklüğündeki rüzgar da mevcuttur. Böylece yüksek hızlı sabit kanatlı mini İHA'nın yunuslama açısı için dikey pozitif yönden esen rüzgar bozukluğunun ve gürültünün sönümlendiği uygun ve gerçekleştirilebilir K kontrolcüsü tasarlanmıştır.



Şekil 6: Zorlayıcı manevra için kontrolcü cevabı ve elevatör eforu

SONUÇ

Bu çalışmada yüksek hızlı sabit kanatlı elektrik motorlu mini bir İHA için H^∞ karma hassasiyet gürbüz kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. İHA'nın tasarımı özellikle dalış manevralarında yüksek hızlara ulaşabilmek üzere optimize edilmiştir. Aerodinamik katsayılar ve türevleri Xfr15 ve USAF DATCOM yazılımları kullanılarak elde edilmiştir. MATLAB'da geliştirilen bir kod yardımı ile

doğrusallaştırılmış hareket denklemleri elde edilmiştir. Elevator/yunuslama açısı transfer fonksiyonu durum-uzay matrisleri kullanılarak bulunmuştur. İHA transfer fonksiyonuna doğrusallaştırılmış hareket denklemlerinin yanı sıra dikey pozitif yönde esen 5 m/s büyüklüğündeki hız değeri de eklenmiştir. H_∞ kontrolcü tasarımı sistemdeki maksimum bozuklukları ve gürültüyü giderecek şekilde ağırlık fonksiyonların seçilmesi ile tanımlanmıştır. Tasarlanan kontrolcünün özellikleri ve çalışmanın sonucu maddeler halinde şu şekildedir:

- Hareket denklemlerinin eldesindeki kabuller ve aerodinamik verilerin kestirimindeki hatalardan kaynaklı model belirsizliği sisteme dâhil edilmiştir.
- Sabit bir gürültü daima sisteme girmiştir.
- Kontrolcünün ağırlık fonksiyonları performansı ve kararlılığı arasındaki takas ile belirlenmiştir. Yüksek manevra için performans ağırlık fonksiyonları büyük seçilmiştir.
- Kontrolcü 12 derecelik referans yunuslama açısına %23'lük aşma ve 1.82 saniye oturma süresi ile hızlı ve başarılı şekilde cevap vermiştir.
- Bu referans takibi için elevatör kısa sürede 3.7 derecelik sapma açısı almıştır.
- Bu referans değeri için kontrolcünün hata değeri 0.01'in altındadır.
- Yüksek manevra içeren başka bir referans için kontrolcü başarılı bir şekilde cevap vermiştir.

İlerleyen çalışmalarda yunuslama açısı için tasarlanan gürbüz kontrolcü tüm düzlemsel ve yanal açılar ve hareketler için tasarlanarak gürbüz bir otopilot tasarımının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Amin, R. U., and Aijun, L., 2016. *Design of mixed sensitivity H_∞ control for four-rotor hover vehicle*. International Journal of Automation and Control, 11 (1), s.89-103.
- Ducard, G. J. J., and Allenspach, M., 2021. *Review of Designs and Flight Control Techniques of Hybrid and Convertible VTOL UAVs*. Aerospace Science and Technology, 118, 107035.
- Dulau, M., and Oltean, S. E., 2020. *The Effects of Weighting Functions on the Performances of Robust Control Systems*. Proceedings, 63 (1), s.1-9.
- Dündar, Ö., Bilici, M., ve Ünler, T., 2020. *Design and performance analyses of a fixed wing battery VTOL UAV*. Engineering Science and Technology, an International Journali Cilt 23, s.1182-1193.
- Euston, M., Coote, P., Mahony, R., Kim, J., and Hamel, T., 2008. *A complementary filter for attitude estimation of a fixed-wing UAV*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, s.340-345.
- Hajiyev, C., ve Vural, S. Y., 2013. *LQR Controller with Kalman Estimator Applied to UAV Longitudinal Dynamics*. Positioning, Cilt 4, s.36-41.
- Huang, Y., Thomson, S. J., Hoffmann, W., Lan, Y., and Fritz, B., 2013. *Development and Prospect of Unmanned Aerial Vehicle Technologies for Agricultural Production Management*. Int. Journal of Agricultural and Biological Engineering, 6 (3), s.1-10.
- Gahinet, P. M., 2018. *Structured H-Infinity Synthesis in MATLAB, IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers-Online)*, 18 (1), s.1435-1440.
- Mofid, O., Mobayen, S., Zhang, C., and Esakki, B., 2021. *Desired tracking of delayed quadrotor UAV under model uncertainty and wind disturbance using adaptive super-twisting terminal sliding mode control*. ISA Transactions, Volume 123, s.455-471.
- Lopez, J., Dormido, R., Dormido, S., ve Gomez J. P., 2015. *A Robust H_∞ Controller for an UAV Flight Control System*, The Scientific World Journal, Cilt 9, s.1-11.
- Mirza, M. N., Qaisrani, I., Ali, L., ve Naqvi, A., 2016. *Unmanned Aerial Vehicles: A Revolution in the Making*. A Research Journal of South Asian Studies, Cilt 31, s. 243-256.
- Nicolosi, F., Vecchia, P. D., & Ciliberti, D. (2013). *An investigation on vertical tailplane contribution to aircraft sideforce*. Aerospace Science and Technology, 28(1), 401-416.

- Uyulan, C., ve Yavuz, M. T., 2019. *Robust H_∞ Control Applied on a Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle*, Advances in Aircraft and Spacecraft Science, Cilt 6, s. 371-389.
- Padfield, G., ve Vural, S. Y., 2013. *LQR Controller with Kalman Estimator Applied to UAV Longitudinal Dynamics*. Positioning, Cilt 4, s.36-41.
- Jordan, J., 2021. *The Future of Unmanned Combat Aerial Vehicles: An Analysis Using the Three Horizons Framework*. Futures, 134, 102848.
- Johnson, Y., and Imthas, T. P., 2014. *Robust Hurwitz Stability and Performance Analysis of H-Infinity Controlled Forward-Velocity Dynamics of UAVs in Close Formation Flight Using Bounded Phase Conditions in a Kharitonov Framework*. J. Inst. Eng. India Ser. C, 95 (3), s.223-231.
- Zarzar, G., Ramirez-Mendoza, M., Fleming, R., Griffin, P., ve Molina-Cristóbal, A., 2008. *Robust H_∞ Controller Design for Aircraft Lateral Dynamics Using Multi-Objective Optimization and Genetic Algorithm*. IFAC Proc., Cilt 41, s.8834-8839.