



DÖRT ROTORLU UÇAN ROBOT DENGE VE YÖNELİM ANALİZİ İLE UYGULAMASI

(BALANCING AND ORIENTATION ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF QUADROTOR FLYING ROBOT)

Oğuz GORA¹, Taner AKKAN²

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışma, dört rotorlu uçan robotun kontrolünü, dengesini ve yönelim açılarını incelemektedir. Dört rotorlu uçan robot için test platformu geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Uçan robota harici takılan Ataletsel Ölçüm Birimi (AÖB) yardımıyla alınan oryantasyon verileri, kablosuz olarak bilgisayara taşınmaktadır. Taşınan veriler Matlab ve Python programlama dillerinde analiz edilmektedir. Böylece, sistemin kumandadan aldığı hareket komutlarını çalıştırırken gösterdiği gerçek zamanlı davranışlar analiz edilmektedir. Uygulama için dokuz serbestlik derecesine sahip bir oryantasyon sensörü, Xbee Explorer modülleri, Walkera Ufo 5# dört rotorlu uçan robotu kullanılmıştır. Çalışmada dört rotorlu uçan robotun aç/kapa kontrolü de başarıyla tamamlanmıştır.

The study reviews the control, balance and orientation angles of a quadrotor flying robot. A test platform is designed and used for the quadrotor flying robot. The orientation data that is acquired by the Inertial Measurement Unit (IMU) which is externally mounted to the quadrotor flying robot is transferred through wireless communication to the computer. The transferred data is analyzed by Matlab and Python programming languages. Thus, Real Time behaviors of the remotely controlled system is analyzed. The hardware consists of 9-Degrees of Freedom Orientation Sensor, Xbee Explorer Modules, Walkera Ufo 5#. In the study, on/off control of quadrotor flying robot is successfully completed.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Denge, Yönelim, Dört rotorlu uçan robot, Xbee, Matlab, Python
Balance, Orientation, Quadrotor flying robot, Xbee, Matlab, Python

¹ Yaşar Ünc, MYO Elektrik ve Enerji Böl., İZMİR, e-posta: oguz.gora@yasar.edu.tr

² Dokuz Eylül Ün., İzmir MYO Teknik Programlar Böl., İZMİR, e-posta: taner.akkan@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Klasik helikopter sistemleri bir ana rotor ve kuyruk rotorundan meydana gelmektedir. Bu helikopterlerin yanında, iki rotorlu, tandem rotorlu, dört rotorlu, altı ve sekiz rotorlu sistemler bulunmaktadır.

Son yıllarda dünyada özellikle insansız hava araçlarına ve genel olarak dört rotorlu uçan robotlara artan bir ilgi gözlenmektedir. Bu araçlar, insanlı uçuşlara göre çeşitli avantajlar sağlamaktadır ve gün geçtikçe uygulama alanları genişlemektedir.

Dünyada artan bu ilgiyle birlikte sensör teknolojilerindeki gelişmeler bu araçların ortam şartlarına daha hassas olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte kontrol tekniklerindeki gelişmeler ve bu gelişmelerin bu araçlara entegre edilmesiyle ortaya manevra kabiliyeti yüksek, yerine getirebildiği görevleri her geçen gün artan mekatronik sistemler çıkmaktadır.

Bu uçan mekatronik sistemler, yüksek manevra kabiliyeti, çok fonksiyonluluğu ve dengesi dolayısıyla kompleks sistemlerdir. Bu bağlamda, yapılan akademik çalışmalar da geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Dört rotorlu uçan robotlar için bazı çalışmalarda robotun modeli ve kinematiği üzerine yoğunlaşmıştır (Bouabdallah vd., 2004; Amir ve Abbass, 2008). Bununla birlikte, robotun iskelet tasarımı, test platformu tasarımı ve kontrolü konularına da yoğunlaşmıştır (Hoffmann vd., 2004; Bouabdallah ve Siegwart, 2007).

Bu çalışmada ise dört rotorlu uçan robotlar incelenmiştir. Dört rotorlu bir uçan robot modelinin denge ve oryantasyonuna ilişkin verilerini alabilmek için bir test platformu geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu bağlamda, çeşitli test platformu tasarımlarına yeni bir katkı yapılmıştır. Çalışmanın diğer kısmında elde edilen fiziksel veriler görselleştirilmiş ve uçan robotun on/off kontrolü gerçekleştirilmiştir.

2. DÖRT ROTORLU UÇAN ROBOTLAR

Dört rotorlu uçan robotlar, yeni dizayn edilmiş araçlar değildirler. 1922'de ilk dört rotorlu aracı Dr. George de Bothezat ve Ivan Jerome gerçekleştirmiştir (Leishman, 2006). X-biçimli iskelete sahipti ve 1678 kg ağırlığındaydı. Rotor çapları 8.1 m genişliğindeydi. 1980'lerin başına kadar bu konfigürasyon değişmedi. İlerleyen yıllarda araştırmacıların artan ilgisiyle birçok farklı tasarım ortaya çıkmıştır.

Günümüzde dört rotorlu uçan robotlar, dört rotoru, pervaneleri, gövdesi ve bir kontrol sistemi olan hava araçlarıdır. Dört rotorlu araçlar, üç, altı, sekiz rotorlu araçlara kıyasla daha fazla tercih edilen tipte hava araçlarıdır.

Dört rotorlu robotların eyleyici (aktüatör) sistemi, dört motordan oluşur ve bir karenin köşelerine karşılıklı olarak yerleştirilmiş biçimde konumlandırılırlar. Bu motorların hızları ve dönüş yönleri genellikle uçağın merkezi kontrol biriminin direktifleri doğrultusunda Elektronik Hız Kontrol Birimince (ESC) kontrol edilir.

Uzun süreli ve yüksek performanslı uçuşlar gerçekleştirmek için bu robotların ağırlık ve güç dağılımları çok önemlidir. Aşağıda dört rotorlu bir robot modeli için bu dağılımlar örneklendirilmiştir.

Çizelge 1. Dört rotorlu bir robota ait ağırlık ve güç dağılımları

Ağırlık Dağılımı	%	Güç Dağılımı	%
Batarya	44	Aktüatörler	91
Aktüatörler	31	Kontrolcü	5
Gövde	10	Haberleşme	3
Kontrolcü	8	Sensörler	1
Sensörler	5		
Haberleşme	2		

Çizelge 1’de görüldüğü gibi dört rotorlu bir robotun ağırlığının % 75’ini batarya ve eyleyiciler (aktüatörler) oluşturmaktadır (Raza, 2010). Ayrıca yine elektriksel gücün % 91’i eyleyicilerce tüketilmektedir. Robotun elektronik sistemi ise hafiftir ve mekanik parçalara göre çok az enerji harcarlar.

Dört rotorlu uçan robotlar aşağıda sıralayabileceğimiz amaçlar doğrultusunda insanlı hava araçlarının yerine tercih edilmektedir:

Gözlem amacı: Birçok sivil ve askeri uygulama bazı otomatik tekrarlanan prosesleri gerektirmektedir. Bu amaçla dört rotorlu robotlar, bir alanı üstüne monte edilmiş yüksek çözünürlüklü kameralarla gözleme, kaydetme imkanı sağlamaktadır. Bu verileri ileri çalışmalar için, kendi mikrokontrol biriminde ya da transfer edilecek bir merkezde işleme imkanı sağlamaktadır.

Sağlık Riski Taşıyan Durumlarda: Bazı durumlarda ulaşılması gereken bölge kimyasal ya da nükleer kirlenmeye maruz kalmış olabilir. Bu durumlarda, bölgeye insanlı hava araçlarının yerine dört rotorlu hava araçlarının tercih edilmesi daha doğru olacaktır. Tehlikeli hava koşullarında daha düşük maliyet ve riskle uçuş gerçekleştirmek için de dört rotorlu uçan robotlar tercih edilmektedir.

Araştırma amacı: Havacılık alanında yapılan araştırmalarda insan hayatını riske etmeden uçakların tehlikeli hava koşullarındaki dengesini analiz etme ve geliştirme amaçlı dört rotorlu uçan robotlar kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda, iklim değişimine ilişkin çalışmalarda, buzul dinamiklerinin incelenmesinde, volkanik hareketlerin ve atmosferik örnekleme alınmasında dört rotorlu uçan robotlar kullanılmaya başlanmıştır (Gupte vd., 2012).

Ekonomik sebeplerle: Dört rotorlu uçan robotların insanlı hava araçlarının yerine tercih edilmesi ekonomik olarak da avantajlıdır. İnsanlı hava araçlarının ilk maliyeti, operasyon maliyeti, bakım maliyeti, depolama maliyetleri çok yüksektir. İnsanlı operasyon gerçekleştirmek de yine bir maliyet parametresidir (Austin, 2010).

2.1. Dört Rotorlu Uçan Robotların Bileşenleri

Dört rotorlu uçan robotlarda birçok bileşen birlikte çalışır. Bu bileşenleri mekanik ve elektronik bileşenler olarak gruplandırabiliriz.

Mekanik bileşenlerin başında robotun mekanik gövdesi gelmektedir. Robotun gövdesi yeterince iyi tasarlanmaz ise, motorlardan alınan itme kuvveti yeterince efektif kullanılamayacaktır. Dayanıklılık, ağırlık ve maliyet kritik dizayn parametreleridir.

Alüminyum, uzaktan kontrollü hava araçlarında daha çok tercih edilen bir malzeme olmuştur. Hafif ve serttir, ısıyı iyi dağıtır, diğer seçeneklere göre daha uygun maliyettedir. Küçük hava araçları için ağırlığı, negatif bir özelliğidir. Ayrıca titreşimlerden kaynaklı olarak zamanla çatlama meydana gelebilir.

Plastik ise, alüminyuma göre titreşimleri daha iyi absorbe eder ve eski şekline dönebilir. Plastik de maliyeti düşüktür ve kolay işlenip şekil verilebilir.

Karbon fiber, uzaktan kontrollü hava araçları için mevcut en iyi malzemedir. Alüminyumdan daha sert ve hafiftir; titreşimleri de plastikten daha iyi emer. Ancak işleme zorluğu ve maliyeti karbon fiberin de negatif özelliğidir.

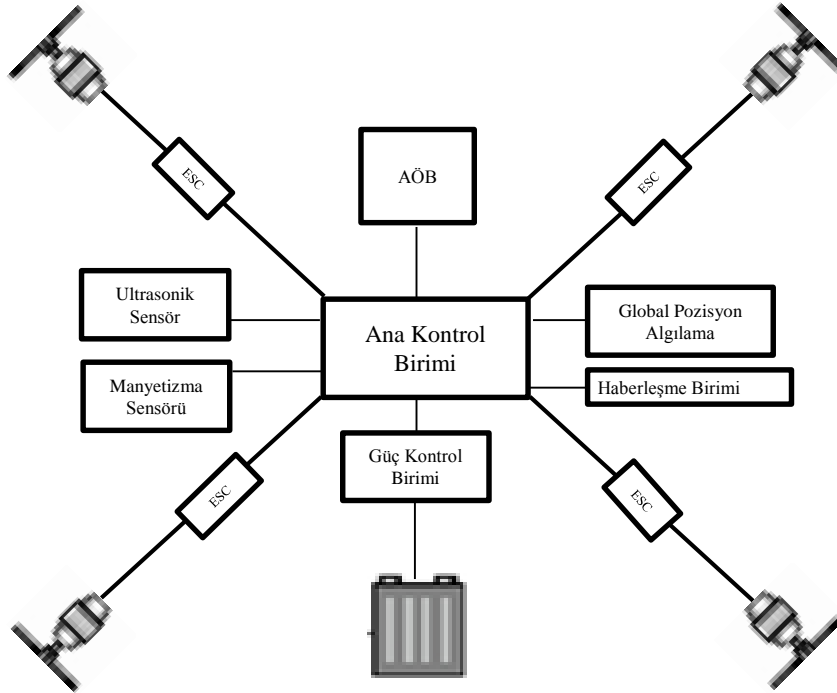
Ana kontrol birimi, basitçe elektronik kontrol devresidir. Dört rotorlu uçan robotun her bir bileşeni bu üniteye bağlanmıştır. Sensörler ilgili ölçüm değerini buraya iletirler. Gelen bütün verilere göre ana kontrol birimi eyleyicileri sürer. Akademik çalışmalar için ya da ticari hedeflerle geliştirilmiş birçok kontrol birimi tasarımı yapılmıştır. Şekil 1’de çalışmamızın son aşamasında kullandığımız kontrol birimi görülmektedir.



Şekil 1. Dört rotorlu uçan robotun kontrol birimi

Motorlar da bu sistemlerde çok yüksek öneme sahiptir. Dört rotorlu uçan robotlarda yer alan 4 adet motorun yüksek güçte ve düşük ağırlıkta olması gerekmektedir. Bu motorlar daha çok fırçalı ya da fırçasız doğru akım motorlarından tercih edilmektedir. Fırçasız doğru akım motorları fırçalı tiplere göre daha iyi tork karakteristikleri, uzun operasyon süresi ve sessiz çalışma sağlamaktadır.

Dört rotorlu uçan robotların elektronik bileşenleri ise Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Dört rotorlu uçan robotların bileşenleri

Elektronik bileşenlerden en önemlisi ana kontrol birimidir. Burada, sensörlerden gelen veriler işlenir ve gerekli yorumlama yapılır. Kablosuz haberleşme sayesinde gelen direktiflere göre sensör bilgilerinden de yararlanarak eyleyiciler sürülür.

Elektronik Hız Denetleyici denilen elektronik hız kontrol birimleri, kontrol biriminden gelen sinyallere göre motorların devir hızlarının ve yönlerinin değiştirildiği kısımdır. Kullanılan motorlara uygun amperde seçilmelidir.

Bataryalar, genellikle bir güç kontrol birimiyle birlikte kullanılır. Batarya tipi olarak birçok batarya teknolojisi olmakla birlikte Li-Po bataryalar daha küçük olmalarından dolayı bu

sistemlerde tercih edilmektedir. Ancak Li-Po batarya ek şarj devrelerine ihtiyaç duyarlar (Dubois vd., 2010).

AÖB, sistemin oryantasyon bilgilerinin elde edildiği sensörlerdir. Oryantasyon sensörü olarak da tanımlanırlar. Jiroskop ve ivme ölçüm değerlerini sağlayarak sistemin dengede kalması için ihtiyaç duyduğu bilgileri üretirler.

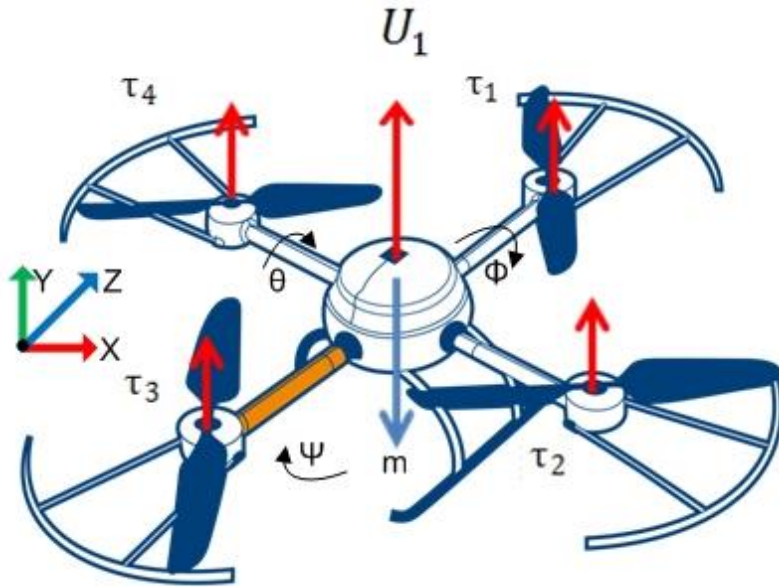
Hava araçlarının hareketlerini tahmin etmek için ataletsel ölçüm sensörlerinden gelen bilgilerin gerçek zamanlı olarak integre edilmesi gerekmektedir. 1970'lerde bu işlem, çok zaman alan bir hesaplamaydı. Bugün ise yüksek işlemci kapasiteleriyle bu sorun ortadan kalkmıştır.

Ultrasonik sensörler, uçan robotların kalkış-inişleriyle, seyirleri sırasında kullanılırlar. Gönderdiği ses sinyalleriyle yeryüzüne olan mesafenin belirlenmesinde, kalkış ve inişlerin sağlıklı yapılmasında yararlanılırlar.

Global pozisyon algılama, uçan robotun yeryüzündeki konumunu belirleyebilmek için kullanılır. Kalman filtreyle birlikte kullanılarak sağlıklı veriler elde edilir.

2.2. Dört Rotorlu Uçan Robotların Fiziksel Özellikleri ve Hareketleri

Dört rotorlu uçan robotların davranışları her bir motorun hızları ve yönleriyle belirlenir. Şekil 3'te bir model üzerinde ilgili dönme açıları ve itme etkileri; Çizelge 2'de ise sembollerine ilişkin bilgiler aktarılmıştır.

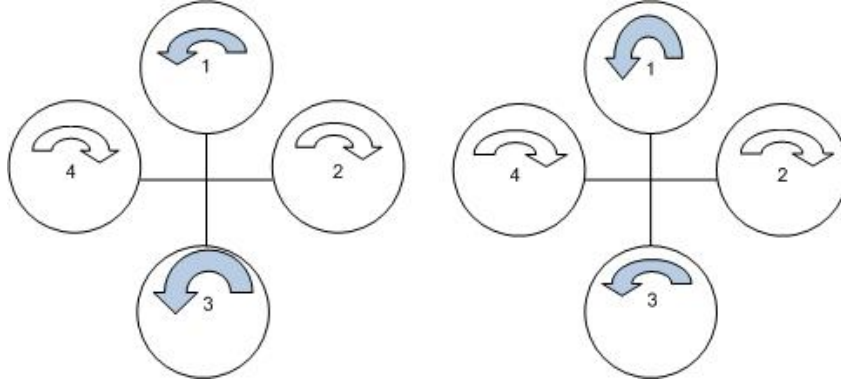


Şekil 3. Dört rotorlu uçan robotun bazı parametreleri

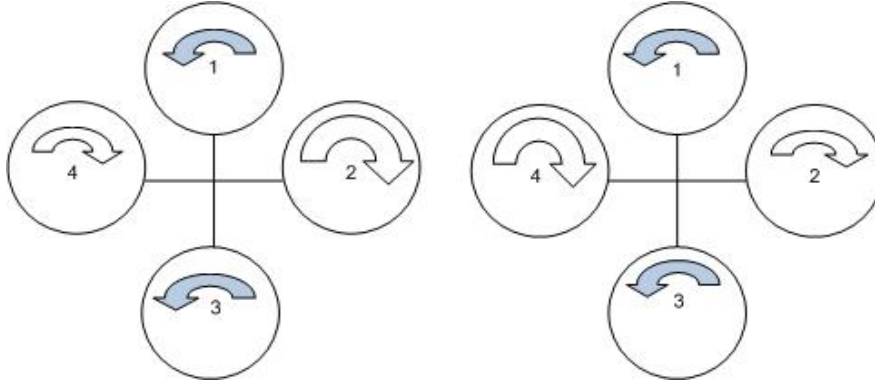
Çizelge 2. Dör rotorlu uçan robotun parametreleri

Sembol	Tanım
Φ	Yalpalama (Roll) açısı, x ekseninde
Θ	Yunuslama (Pitch) açısı, y ekseninde
Ψ	Sapma (Yaw) açısı, z ekseninde
T	İtme
M	Kütle

Dört rotorlu uçan robotun temel hareketlerine bakılacak olursa; yunuslama, robotun burun kısmının yukarı veya aşağı hareket etmesi; Yalpalama, robotun sağa ya da sola doğru sallanma hareketi; Sapma ise, robotun doğrultusunun değişecek şekilde rotasının değişmesi hareketidir. Bu hareketler motorların Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi hareket etmesiyle gerçekleşir.



Şekil 4. Dört rotorlu uçan robotun yunuslama hareketi. Saat yönünün tersinde (solda). Saat yönünde (sağda)



Şekil 5. Dört rotorlu uçan robotun yalpalama hareketi. Saat yönünün tersinde (solda), saat yönünde (sağda)

Şekil 4'te 2 ve 4 motor seti saat yönünde döndüğünde 1 ve 3 motorlarının saat yönünde dönüşlerindeki hız farkı **yunuslama hareketi** yaptırır.

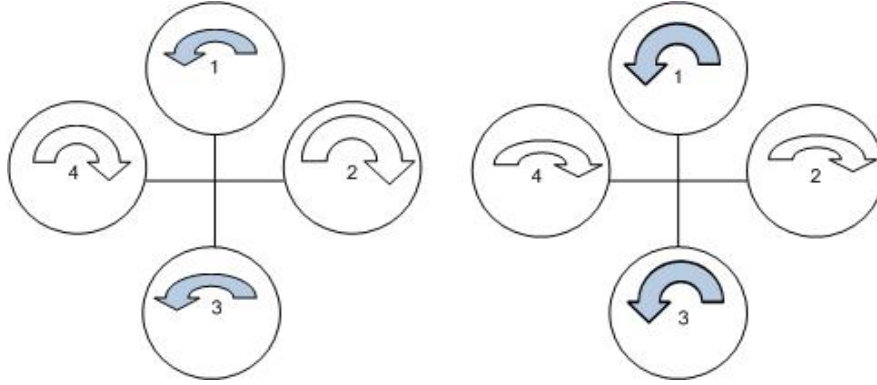
Şekil 5'te 1 ve 3 motor seti saat yönünün tersinde döndüğünde, 2 ve 4 motorlarının saat yönünde dönüşlerindeki hız farkı **yalpalama hareketi** yaptırır.

Şekil 6'da 1 ve 3 motor seti saat yönünün tersinde dönerken, 2 ve 4 motorlarının saat yönündeki hızlarının artışı ya da azalışı **sapma hareketini** yaptırır.

3. TEST PLATFORMU TASARIMI VE SENSÖR DÜZENİĞİ

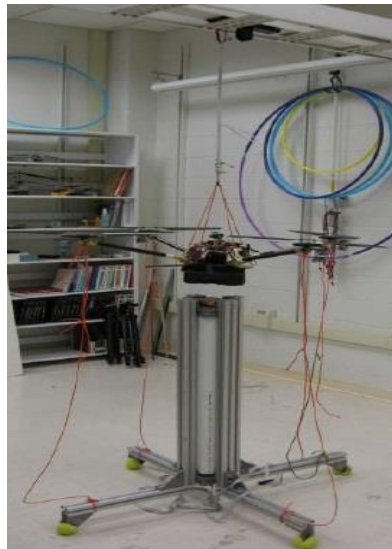
3.1. Test Platformu Tasarımı

Dört rotorlu uçan robotlar, hafif olmalarının yanında hareketleri sırasında ani hızlanma ve yön değiştirme özelliklerinden ötürü zaman zaman tehlikeli durumlara sebep olabilmektedirler. Bu sırada mekanik ve elektronik parçalar zarar görebileceği gibi kullanıcıların da yaralanması olasıdır. Bu durumun önüne geçmek için birçok akademik ve ticari çalışma sırasında uygun bir test platformu geliştirme yoluna gidilmiştir.



Şekil 6. Dört rotorlu uçan robotun sapma hareketi. Saat yönünün tersinde (solda), saat yönünde (sağda)

Geliştirilen test platformları gerçekleştirilecek çalışmaya göre farklılık göstermektedir. Patel, yaptığı çalışmada sadece robotun etrafını kapatacak şekilde karbon fiberden çok hafif bir test platformu geliştirmiştir (Patel, 2006). Diğer bir çalışmada ise, robotun tek boyutta hareketini incelemek üzere bir test platformu geliştirilmiştir (DiCesare, 2013). Bhargava, yaptığı çalışmada dört rotorlu robotu tavanda belirli bir noktaya sabitlemiştir (Bhargava, 2008). Her bir rotor kanadına bağladığı esnek ipler üstten ve alttan robotun hareketini sınırlamakla birlikte hareketine imkan sağlamıştır. Aynı zamanda tekerlekli bir sehpa da kullanılmıştır. Şekil 7’de Bhargava’nın geliştirdiği test platformu görülmektedir.



Şekil 7. Bhargava'nın geliştirdiği test platformu

Bu çalışma sırasında da, güvenlik sebepleri ve dört rotorlu robotun sağlıklı gözlem yapılabilme ihtiyacından kaynaklı olarak bir test platformu tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım ile istenen öncelikle sağlıklı çalışma imkanıdır. Ayrıca platformun hafif olması ve robotun 3 ekseninde hareketine izin vermesi de gereklidir.

Çizelge 3. Test Platformunun Özellikleri

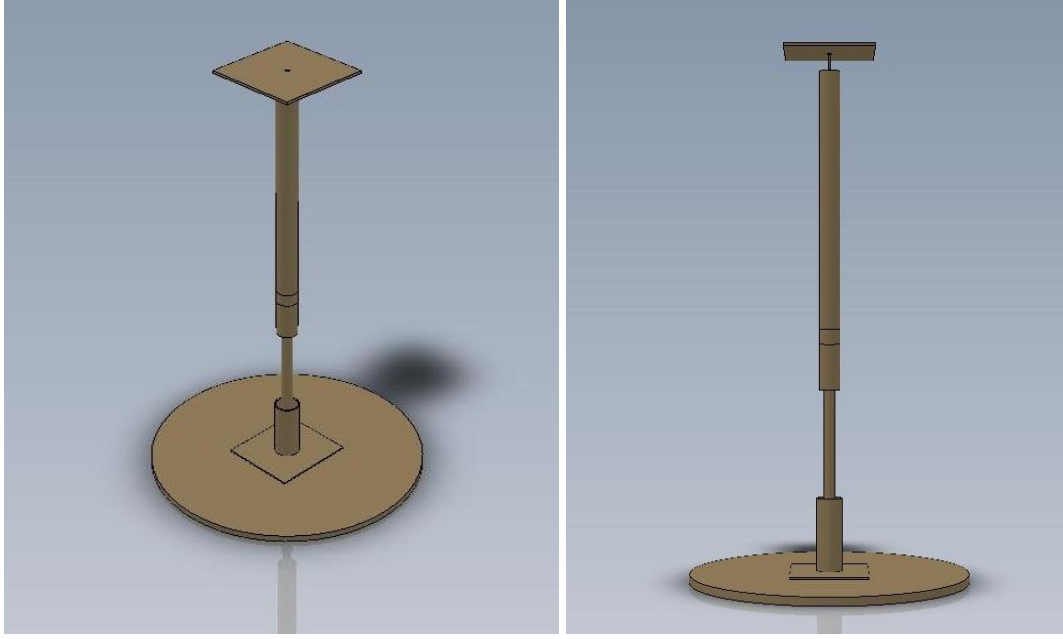
Test Platformunun Özellikleri	
Ağırlık	1 kg
Uzunluk	60 cm
Minimum Çekme Kuvveti	4 N
Silindir Hareket Mesafesi	25 cm

Test platformu, tutucu dairesel bir levhanın üzerine silindirik hava pompasının dik olarak yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Hava pompasından geçen hava direnci bir somun yardımıyla ayarlanabilmektedir.



Şekil 8. Metal desteklerle güçlendirilmiş test platformu

Robotun hareketlerinin yatay bileşenler oluşturmadan sağlıklı algılabilmek için hava pompasına, dairesel levhaya dik olacak şekilde destekler eklenmiştir. Tasarlanan test platformunun katı modeli aşağıda Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Test platformunun Solidworks çizimi

3.2. Sensör Konfigürasyonu

Test platformuna dört rotorlu uçan robotu sabitleme işleminden sonra robotun denge ve yönelim verilerini alabilmek için ataletsel ölçüm yapılmıştır.

3.2.1. AÖB

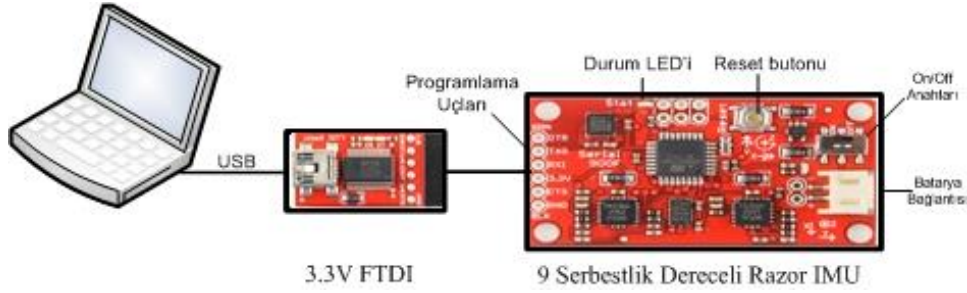
AÖB olarak adlandırılan cihazların tarihi geçmişe dayanmaktadır. İlk defa uygulamasını C.S. Draper 1949 yılında yapmıştır. Zamanla gemilerde ve hava araçlarında sıklıkla kullanılan bir seyir cihazı haline gelmiştir. Çalışması sırasında ayrı bir referans sistemine ihtiyaç duymadan çalışmaktadırlar.

Günümüzde ataletsel ölçüm üniteleri jiroskop ve ivme-ölçerlerin birlikte çalıştığı yapılar haline gelmiştir. Standart bir AÖB’de 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır: Konum (x, y, z) ve yönelim (roll, pitch, yaw). Ticari bazı AÖB’ler, hız ve ivme tahminleri de gerçekleştirmektedir (Castillo vd., 2005)

AÖB’ler jiroskop ve ivme-ölçerden kaynaklı ölçme hatalarına çok duyarlıdır. Tekrarlı birikimler ve jiroskop verilerindeki kaymalar yönelim verilerinde yanlış sonuçlar çıkmasına neden olabilmektedir. Yine, ivme-ölçer verilerinin iki defa integre edilmesiyle elde edilen konum verilerinde de kuadratik hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, elde edilen verilerin doğrulanması gerekmektedir. Uzun süreli ölçümlerde GPS’ler bu amaçla kullanılmaktadır.

3.2.2.AÖB’nin Programlanması

Çalışmada, dört rotorlu uçan robotun yönelim açılarını ve ivme bilgilerini elde edebilmek için AÖB kullanılmıştır. AÖB, aşağıdaki Şekil 10’da görüldüğü gibi programlanarak, kodlar yüklenmiştir.



Şekil 10. Oryantasyon sensörünün programlanması

AÖB çıkış kodları sırasıyla yalpalama (roll), yunuslama (pitch), sapma (yaw) sonrasında ise x,y,z eksenlerinin ivme değerleri yer alacak şekilde programlanmıştır.

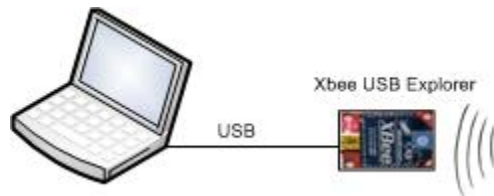
3.3. Kablosuz Haberleşme Konfigürasyonu

Kablosuz haberleşme sağlamak için Xbee modülleri kullanılmıştır. Xbee modülleri IEEE standartlarında, konfigüre edilebilen hızlarda kablosuz haberleşme sağlamaktadır. Modüllerin her biri X-CTU programıyla Çizelge 4’teki parametrelere göre konfigüre edilmiştir.

Çizelge 4. X-CTU programına girilen parametreler

XBEE - PC		XBEE - XB24	
Version:	10E6	Version:	10E6
Poh ID:	3332	Poh ID:	3332
My ID:	0	My ID:	1
DL ID:	FFFF	DL ID:	0
DH ID:	0	DH ID:	0
BD:	6 (57600 kbit/sn)	BD:	6 (57600 kbit/sn)
D3:	3	D3:	5
IC:	8	IU:	0
RR:	3	IA:	FFFF
R0:	10	R0:	10

Modüllerin konfigürasyonu için donanımsal olarak, aşağıdaki yapı kurulmuştur:

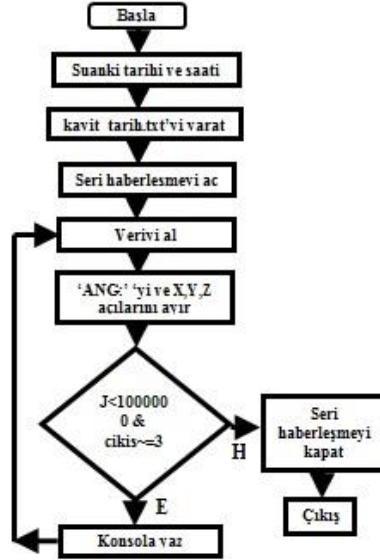


Şekil 11. Xbee modülleri konfigüre etmek için oluşturulan yapı

4. SENSÖR VERİLERİNİN ALINMASI

4.1 Matlab ile Sensör Verilerinin Alınması

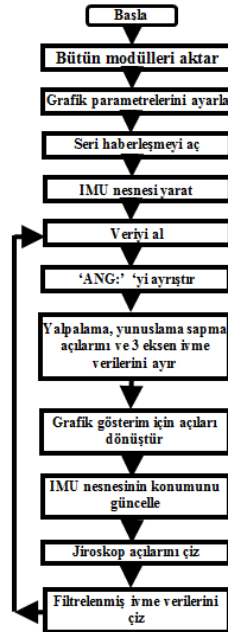
Razor Imu'dan alınan ve Xbee kablosuz haberleşme modülleriyle iletilen jiroskop açıları ve ivme verileri öncelikle Matlab ortamında alınıp kaydedilmiştir. Bu kısımda herhangi bir görselleştirme tercih edilmemiştir.



Şekil 12. Matlab programının akış şeması

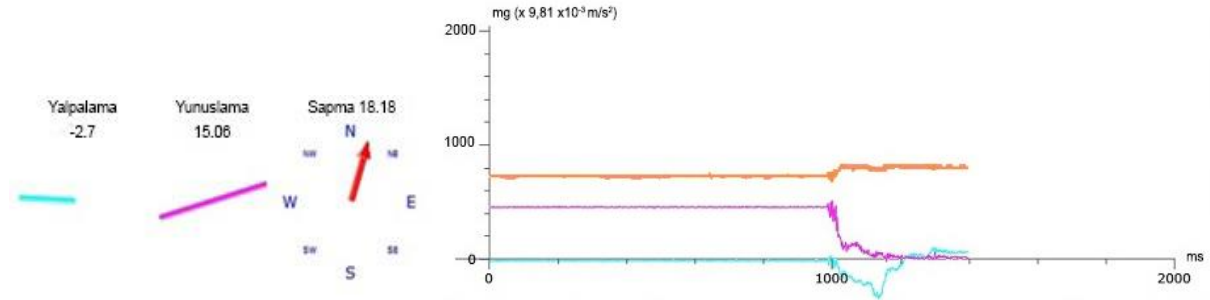
4.2. Python ile Sensör Verilerinin Alınması

Python programı birçok farklı amaç için kullanılabilen bir programlama dilidir. Çalışmada farklı görselleştirme imkanlarından ve daha hızlı çalışmasından ötürü Python programı daha verimli kullanılmıştır.



Şekil 13. Python programı akış şeması

Şekil 14’te grafikte görülen renkler üç eksenenden alınan ivme değerlerini göstermektedir. Turuncu renkte yer alan eğri, yer çekimi yönündeki ivmeyi göstermektedir.



Şekil 14. Python’da oluşturulan açılara ve ivmelere ait görseller

4.2.1 Verilerin Filtrelenmesi

Oryantasyon sensöründen alınan veriler yüksek hassasiyetli olduğundan birçok titreşim bileşeni de içermektedir. Bu verilerden sağlıklı olarak yararlanmak için uygun bir filtreleme yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada yürüyen ortalama filtresi (Moving Average Filter) kullanılmıştır. Bu filtre, birçok dijital sinyal işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Gürültü sinyallerini elimine etmekte etkilidir ve basittir.

Bu filtreyle yüksek frekans sinyalleri azaltır. Bu tip filtreler çoğunlukla zaman domenli sinyallerle çalışırken tercih edilir (Smith, 2003). Filtrenin çıkış sinyali:

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i + j] \quad (1)$$

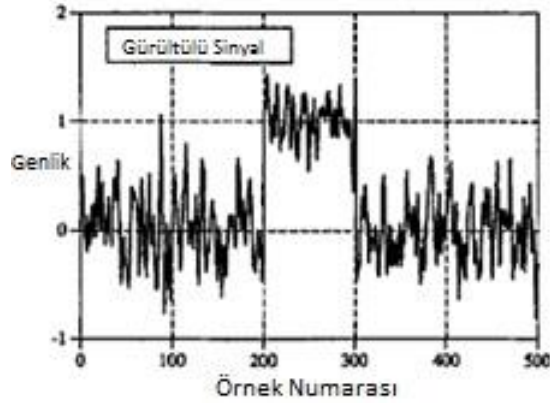
şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki Eşitlik 1’de; X[]; giriş sinyali, y[]; çıkış sinyali ve M ise ortalaması alınan nokta sayısını ifade etmektedir. Örneğin 5 noktalı bir filtre konfigürasyonunda 50 değeri için sinyal:

$$y[50] = \frac{x[50] + x[51] + x[52] + x[53] + x[54]}{5} \quad (2)$$

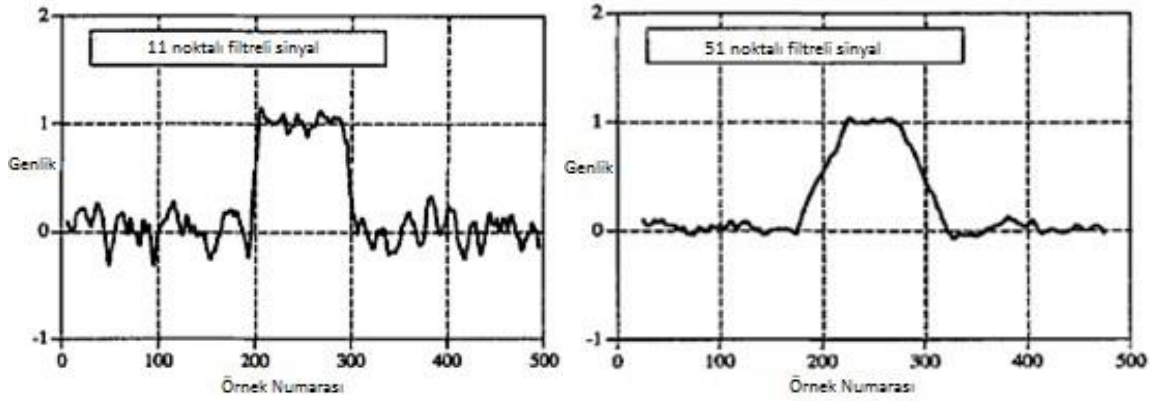
olarak ifade edilecektir. Başka bir alternatif ise Eşitlik 3’te görülmektedir. Burada çıkış sinyali x[50] girişini ortaya alacak şekilde, önceki ve sonraki giriş sinyallerinden yararlanarak oluşturulmuştur:

$$y[50] = \frac{x[48] + x[49] + x[50] + x[51] + x[52]}{5} \quad (3)$$

şeklinde. Aşağıdaki Şekil 15’te gürültülü bir sinyal, Şekil 16’da 11 noktalı ve 51 noktalı bir filtreden geçirilmiş sinyal işaretlerinin grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 15. Gürültülü bir sinyal



Şekil 16. 11 noktalı ve 51 noktalı yürüyen ortalama filtre çıkış sinyalleri

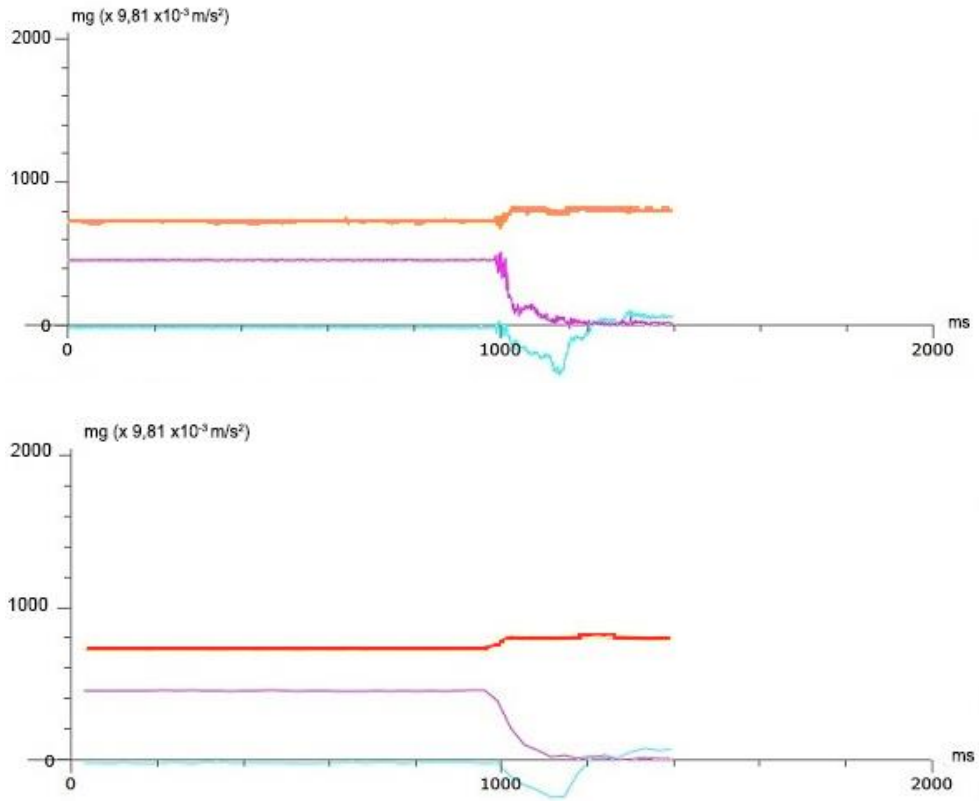
Görüldüğü gibi, kullanılan nokta sayısı arttıkça daha düzgün bir çıkış sinyali elde edilmektedir. Aynı zamanda çıkış sinyalinde gösterilecek her bir nokta için de işlem yükü aynı oranda artmakta ve daha yüksek işlem kapasitelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sensörden elde edilen ivme değerleri, bu çalışmada 30 noktalı yürüyen ortalama filtre kullanılarak filtrelenmiştir. Elde edilen örnek değerler ve filtrelenmiş çıkışları Şekil 17’de gösterilmiştir.

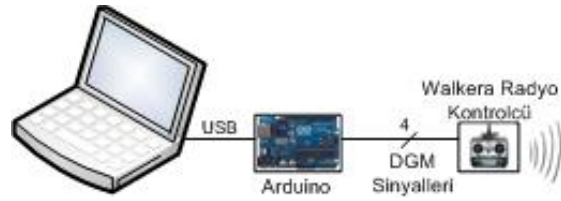
5.DÖRT ROTORLU UÇAN ROBOTUN KONTROLÜ

Çalışmada, jiroskop açılarının ve ivme değerlerinin elde edilmesi ve görselleştirilmesi hedefleriyle birlikte dört rotorlu uçan robotun kontrolü de yapılmıştır.

Uygulamada robotun kendi uzaktan kumandası iptal edilip Atmel temelli mikrokontrolcü (Arduino) tarafından DGM (Darbe Genişliği Modülasyon) sinyalleri üretilmiştir. Üretilen bu sinyaller, bilgisayar seri kanalından belirlenmektedir.

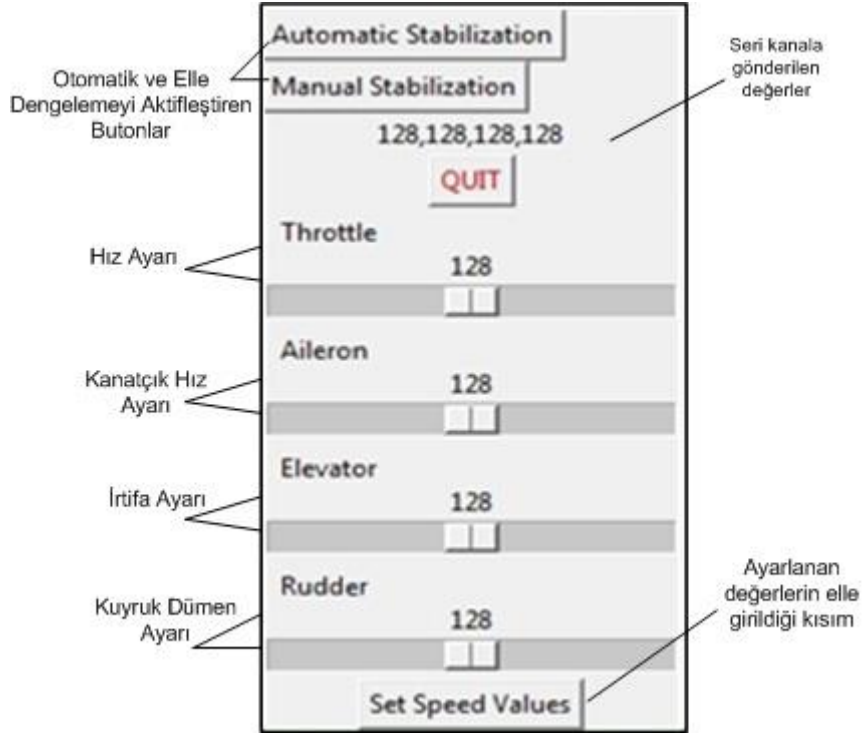


Şekil 17. Gürültülü sinyal ve filtrelenmiş sinyal



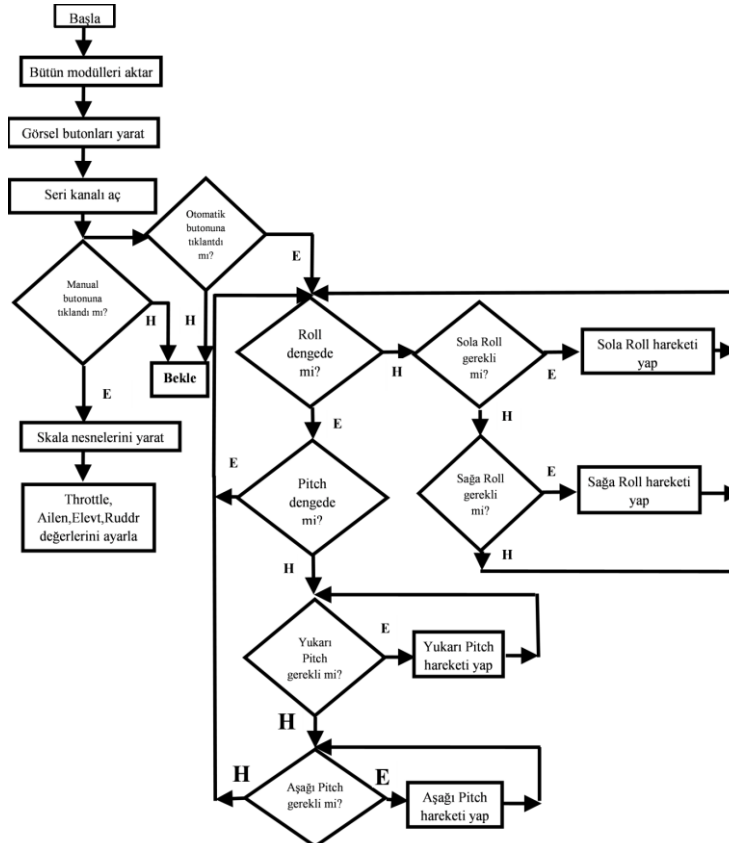
Şekil 18. Bilgisayar kontrolü

Şekil 19'da bilgisayar kontrolü için Python platformunda tasarlanan arayüz gösterilmektedir.



Şekil 19. Python kontrol arayüzü

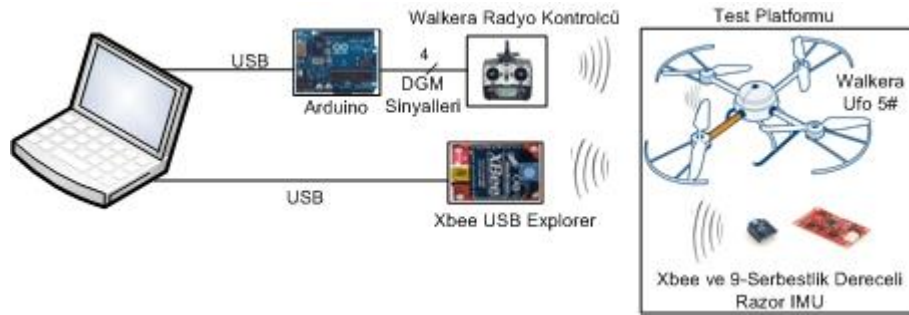
Uygulamanın diğer aşamasında, elde edilen jiroskop ve ivme değerlerine göre robot dengede kalacak şekilde DGM sinyallerinin otomatik ayarlandığı bir aç/kapa kontrol yapısı kurulmuştur.



Şekil 20. Python kontrol yazılımı akış şeması

6.SONUÇLAR

Bu çalışmada, dört robotlu uçan robotlar incelenmiş; bu robotların temel bileşenleri ve hareketleri araştırılmıştır. Uygulama aşamasında, sağlıklı çalışabilmek ve robotun hareketlerinin analizini yapabilmek için bir test platformu tasarlanmıştır. Tasarlanan test platformu üzerine yerleştirilen oryantasyon sensörü sayesinde jiroskop ve ivme ölçer verileri kablosuz olarak alınıp bilgisayar ortamında Matlab ve Python programlama dillerinde incelenmiştir. Python yazılımında uygun filtreleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 21. Çalışmanın şematik gösterimi

Çalışmanın diğer kısmında, dört rotorlu uçan robotun aç/kapa kontrolünü gerçekleştirmek için Atmel temelli mikrokontrolcü ile robotun uzaktan kontrol kumandasında değişiklikler yapılmıştır. Böylece, bilgisayarın seri kanalı aracılığıyla istenilen çalışma süresinde DGM sinyalleri üretilip uçağa uygulanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada literatüre bir test platformu tasarımıyla özgün bir katkı yapılmış; ve platforma yerleştirilen oryantasyon sensörü sayesinde dört rotorlu uçağın kendi dengesine kavuştuğu bir yapı elde edilmiştir. Sensör verilerinin kaydedilip uçağın hareketinin görselleştirildiği bir yazılım da geliştirilmiştir.

Günlük hayatımızda gün geçtikçe daha fazla görmeye başladığımız insansız hava araçlarına yönelik bu çalışma, bu alanda yapılabilecek daha karmaşık araştırmalara ön açıcı nitelikte olmuştur.

KAYNAKLAR

- Amir M., Abbass V. (2008): "Modeling of Quadrotor Helicopter Dynamics", *Smart Manufacturing Application*, ICSMA, International Conference, sf. 100-105.
- Austin R. (2010): "Unmanned Aircraft Systems. Uavs Design, Development and Deployment". Wiley Publication, sf. 6-7.
- Bouabdallah S., Murrieri P., Siegwart R. (2004): "Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor", Proceedings of the 2004 IEEE, *International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans, LA.
- Bouabdallah S., Siegwart R. (2007): "Full Control of Quadrotor", *Intelligent Robots and Systems, IROS, IEEE/RSJ International Conference*, sf. 153-158.
- Bhargava A. (2008). "Development of a Quadrotor Testbed for Control and Sensor Development", sf. 50-52.
- Castillo P., Lozano R., Dzul A. E. (2005): "Modeling and Control of Mini-Flying Machines, *Advances in Industrial Control*". Springer Publication, sf. 187.

- DiCesare Antonio (2013): “Design Optimization of a Quad-Rotor Capable of Autonomous Flight”, Doktora Tezi.
- Dubois E., Gray P., Nigay L. (2010): “*The Engineering of Mixed Reality Systems*”. Springer-Verlag London, sf. 221.
- Gupte S., Mohandas P. I. T., Conrad J. M. (2012):”A *Survey of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle*”, Southeastcon, Proceedings of IEEE, sf. 1-6.
- Hoffmann G., Rajnarayan D. G., Waslander S. L., Dostal D., Jang J. S., Tomlin C. J. (2004): “The Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi Agent Control (STARMAC)”, *Digital Avionics Systems Conference, DASC 04 IEEE*, Cilt 2.
- Leishman J. G. (2006). “*Principles of Helicopter Aerodynamics*”, İkinci Basım, Cambridge Aerospace Series.
- Patel C. A. (2006): “Building a Testbed for Mini Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle With Protective Shroud”, Wichita State University, Doktora Tezi.
- Raza S. A. (2010): “Design and Control of a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle”, Electrical and Computer Engineering, School of Information Technology and Engineering, University of Ottawa, sf. 6.
- Smith S. W. (2003): “*Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists*”. Newnes Press, sf. 277-282.