

MULTIKOPTER (DRONE) SİSTEMLERİ GENEL BİLGİLER VE UÇUŞ PRENSİPLERİ

Özellikle elektrikli motor ve lityum bazlı batarya teknolojilerinin gelişmesiyle avuç içine sığacak boyuttan, insan taşıyabilecek boyutlara kadar pek çok şekilde ve konfigürasyonda dronelar (ilerleyen bölümlerde multikopter olarak anılacaktır) hayatımıza girmiştir (Şekil. 1). Mevcut durumda hobi, havadan görüntü alma, ekin ilaçlaması gibi amaçlar için kullanılan bu araçların yakın gelecekte hava taksi uygulamaları için de kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır [Volocopter]. Droneların genel yapısı ve hobi amaçlı olarak kullanılacak oto-pilot sistemleri hakkındaki bazı temel bilgileri bu yazıda derlemeye çalıştık.

lar, İHA'lar gibi görüş mesafesinin dışında uçurulabilmesine rağmen üzerlerinde herhangi otonom veya otomatik seyrüsefer sistemlerine sahip değildir [4]. Bunun en güzel örneği hedef dronelar olarak adlandırılan ve hava savunma sistemlerinde alıştırma yapmak üzere kullanılan uçaklardır. Günümüzde bu kavramlar çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Yeni kavramlardan birisi otonom drone kavramıdır. Bu da prensipte otonom seyrüsefer sistemlerine sahip olan İHA olarak tanımlanabilir. Pek çok kaynakta drone ve İHA kelimelerin birbirleri yerine kullanıldığını görmek mümkündür. Model uçak, İHA veya drone olarak tanımlanan hava araçları anlaşılacağı

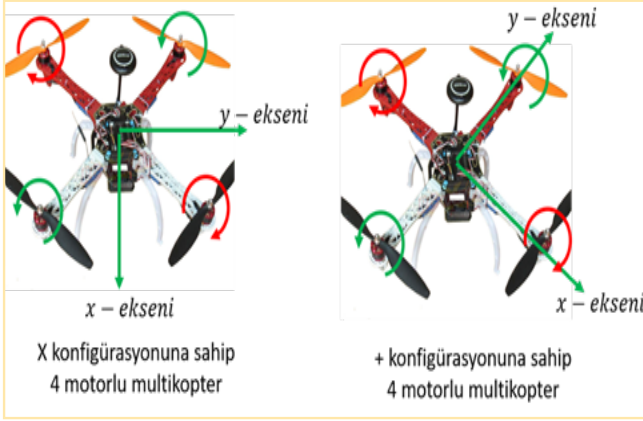


Şekil 1. Bitcare Crazyflie 2.1 Modeli [1] ve Volocopter VC200 [2]

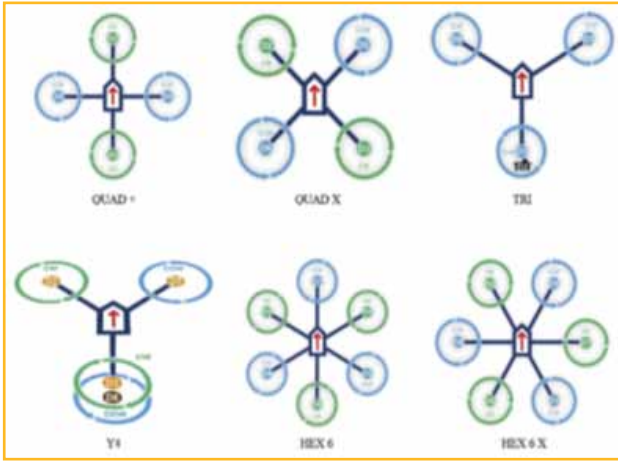
Öncelikle uçak, model uçak, insansız hava aracı (İHA) ve drone kavramları üzerinde bir miktar durmakta fayda var. Uçak, Türk Dil Kurumu sözlüğüne bakıldığında “Kanatlarının altındaki havanın yaptığı basınç yardımıyla yükselip ilerleyebilen motorlu hava taşıtı, tayyare” olarak açıklamaktadır [3]. Bunun yanında havacılık jargonunda ‘Uçak’: doğrudan veya dolaylı olarak insan marifetiyle ile sevk ve idare edilen her türlü hava aracının genel adı olarak tanımlanır. Havadan ağır veya hafif, motorlu veya motorsuz olabilir. Örnek olarak balonlar havadan hafif, motorsuz uçaklar olarak tanımlanır. Uçak kelimesi ile eş anlamlı olarak “Hava Aracı” kavramı da kullanılabilir. Model uçak, kullanıcı (model uçak pilotu) tarafından görüş mesafesi içinde tutularak uçurulan, eğlence ve sportif amaçlı, ölçekli veya özgün uçaklar olarak tanımlanabilir. Burada önemli olan nokta model uçağın tamamen görüş alanı içinde ve insan kontrolü ile uçurulmasıdır. Bir model uçağa, otonom seyrüsefer sistemleri entegre edilirse bu, model uçak olmaktan çıkarak ve İHA sınıfına girer. İnsansız hava aracı (İHA), içinde insan bulunmayan, görüş mesafesi içinde veya dışında, insan marifetiyle ve/veya üzerindeki otonom/otomatik sistemlerle sevk ve idare edilen hava araçlarının genel adıdır. Burada otonom ve otomatik kavramları arasında fark olduğunu unutmamak gerekir. Genel olarak bir insansız hava aracının üzerinde en azından belli bir miktar otonom ve/veya otomatik seyrüsefer sistemlerinin olması beklenir [4]. Drone kelimesi yabancı literatürde İHA'lar ile hemen hemen aynı anlamda kullanılmakla beraber İHA tanımından biraz farklılık gösterir. Drone-

gibi özellikle belli bir uçak sınıfını tanımlamaz. Helikopter gibi döner kanatlı uçaklar olabileceği gibi sabit kanatlı insansız uçaklar da model uçak, İHA veya drone sınıfı içinde yer alabilir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, elektrik motoru, lityum batarya ve MEMS duyurga (sensörler) teknolojilerinin gelişmesi; kontrol uygulamalarının mikro-denetleyici kartlar ile kolaylıkla yapılar hale gelmesiyle çok motorlu pervane sistemine sahip, uzaktan veya otonom kontrollü uçak tipi ortaya çıkmış bulunmaktadır. Bu uçak tipinin örneklerine havacılık tarihinde rastlamak mümkündür. Fakat kendi dönemlerinde bu kadar yaygın olarak kullanım alanı bulamamışlardır. Bu uçaklarının tarihçesi bu yazının kapsamı dışındadır. Bu uçak konfigürasyonu çok sayıda motor/pervane, batarya, gövde ve uçuş için gerekli kumanda ve kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. İtki sisteminin bileşke kuvveti uçağın düşey ekseninde oluşur. Motorların devirleri ayrı ayrı ayarlanarak 3 eksen-deki doğrusal ve açıl hareket kontrol edilir. Bu uçak tipi ülkemizde (ve akademik olmayan yabancı kaynaklarda) genel olarak drone olarak anılmaya başlanmıştır. Makale yazarı tarafından bu hava araçlarını sınıflandırmak için, helikopter ve gyrokopter hava araçları örnek alınarak, multikopter adı önerilir. Multikopter (İngilizce: multi-copter) şeklindeki isimlendirmeye literatürde rastlamak mümkündür. 4 Motorlu (ingilizcede quadcopter olarak anılan), X ve + konfigürasyona sahip multikopter örneği Şekil 2’de gösterilmiştir. Motor sayısına göre farklı multikopter konfigürasyonları Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. X ve + konfigürasyonlarındaki 4 motorlu multikopter örneği. (Gövde resmi kaynağı [5])



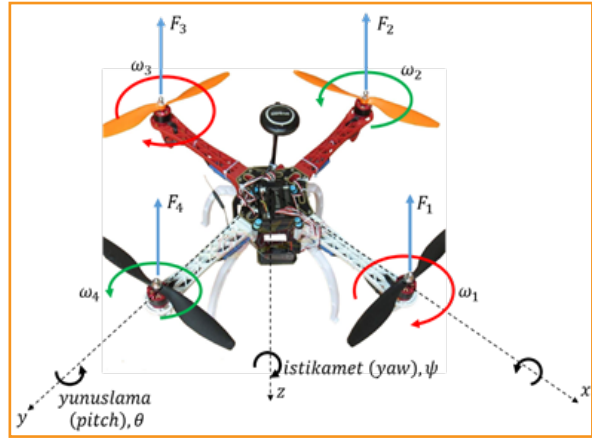
Şekil 3. Farklı motor-pervane sayısına sahip multikopter konfigürasyon örnekleri [6]

Multikopterlerin Uçuş Kontrol Prensipleri:

Bu uçak tipi, döner kanatlı uçaklar (helikopter, gyro-kopter) sınıfında sayılabilir. Fakat konvansiyonel döner kanatlı uçaklardan farklı olarak hatve kontrolü yerine motor devirlerinin ayrı ayrı ayarlanmasıyla uçuş kontrol edilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi karşılıklı motorlar aynı yönde dönüş yapmaktadır. Multikopterlerde motor sayısı kısıdı olmamakla beraber tork-antitork oluşumu nedeniyle genellikle çift sayıda motorlar tercih edilir. Tek motorlu sistemlerde gövde üzerinde oluşan torkun balans edilebilmesi için ayrıca bir kontrol yönteminin uygulaması gerekir.

Örnek olarak dört motorlu, X konfigürasyonundaki bir multikopterinin çalışma prensibi Şekil 4'te ve aşağıda açıklanmıştır. Motorlara bağlanmış olan pervaneler, ikişerli olarak aynı yönde dönüş yaparlar. Şekil 3'te ω_2 ve ω_3 saat yönünde; 2 ve ω_4 saat yönünün tersine olarak gösterilmiştir. Böylece gövde üzerinde oluşan torklar (helikopterlerdeki kuyruk rotorunun yaptığı görev misali) balans edilir. Gövdenin x-ekseni etrafındaki yalpa (roll, ϕ) açısıl hareketi için ω_2 ve ω_4 dönüş hızları değiştirile-

rek F_2 ve F_4 kuvvetleri arasında fark oluşturulur. Böylece uçak x-ekseni etrafındaki dönüş hareketine başlar. ω_2 ve ω_4 dönüş hızları ayarlanarak hareketin istenen şekilde devamı sağlanır. Benzer şekilde y-ekseni etrafındaki yunuslama (pitch, θ) açısıl hareketi için ω_2 ve ω_4 dönüş hızları değiştirilerek F_1 ve F_3 kuvvetleri arasında fark oluşturulur. Böylece uçak y-ekseni etrafındaki dönüş hareketine başlar. ω_1 ve ω_3 dönüş hızları ayarlanarak hareketin istenen şekilde devamı sağlanır. z-ekseni etrafındaki istikamet (yaw, ψ) değiştirilmesi için aynı yönde dönen iki motor devir sayısı (ω_1 ve ω_3) artırılır, ters istikamette dönen motorların devir sayısı (ω_2 ve ω_4) azaltılır. Böylece gövde üzerindeki anti-tork oluşumu ortadan kalkar ve uçak kendi eksteni etrafında dönme-ye başlar. Doğrusal hareket için gidilmek istenen yöne göre uçağa meyil verilir ve böylece bileşke kuvvetin yatay bileşeni vasıtasıyla gidilmek istenen eksen üzerindeki doğrusal hareket gerçekleştirilir. Örnek olarak Şekil 4'te verilen multikopterinin x-ekseni üzerinde hareket etmesi için önce y-ekseni etrafında θ kadar yunuslama açısı verilir. Böylece bileşke kuvvet θ kadar meyledilmiş olur ve uçak x-ekseni üzerinde hareketine başlar. Motor sayıları çift olduğu müddetçe çalışma mantığı tüm multikopterler için aynıdır.



Şekil 4. X konfigürasyonundaki 4 motorlu multikopter (İng.: quadcopter) motor devir yönleri, açısıl tanımlar ve motor kuvvetleri. Resim DJI F450 [5].

Multikopter Bileşenleri:

Farklı ebatlarda olmakla birlikte küçükten büyüğe hemen hemen tüm multikopter uçakları gövde, itki sistemi (motor-pervane, hız kontrolcüsü, batarya), oto-pilot (duyargalar ve uçuş bilgisayarı), isteğe bağlı görev bilgisayarı ve faydalı yük (kamera, ilaç, duyurga...) sistemlerinden oluşur. Uzaktan kumanda şekline göre yer kontrol istasyonu veya RC kumanda ve alıcı/vericisi listeye dâhil edilebilir. İnsanlı modellerinde pilot kontrolüne uygun seyirüsefer (aviyonik) sistemlerinin olması da gerekir. Bu yazıda insanlı versiyon için gerekli donanım tartışılmayacaktır.

Hobi amaçlı kullanılacak bir multikopterinin bileşenleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hobi amaçlı, 4 motorlu multikopter sistemi için gerekli bileşenler

Şekil 5' te, yukarıda sıralanan uçak üstü ve yer ekipmanları için örnek modeller gösterilmiştir. Sol baştan itibaren: kumanda, pervane, batarya, gövde şasesi, alt seviye oto-pilot bilgisayarı (uçuş bilgisayarı), görev bilgisayarı, motor ve yer kontrol istasyonu bilgisayarı gösterilmiştir. Bunların yanında kamera ve/veya fotoğraf makinesi, ekin ilaçlama için ekin ilacı gibi faydalı yükler de uçak üzerinde bulunabilir. Ana eleman bileşenleri hakkındaki genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Gövde:

Gövde her uçak modelinde olduğu üzere, motor, aviyonik sistemleri, yakıt/batarya sistemleri, duyurga, varsa pilot ve yolcuları üzerinde barındıran ana yapıdır. Uçağın taşıyacağı yük ve havada kalış süresine göre farklı ebatlarda olabilir. Gövde yapısının dayanıklılığı, hafifliği, ataletsel özellikleri uçuş performansı açısından önem gösterir. Yapının belirli oranlarda titreşimlere dayanması beklenir. Multikopter konfigürasyonuna (X, +, çift yönlü, simetrik...) göre uygun gövde yapısının seçilmesi ve oto-pilot/kontrolcünün buna göre kodlanması önemlidir. Bazı örnek konfigürasyonlar Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. Farklı tip gövde yapıları

İtki Sistemi (Motor, Pervane, Sürücü Devresi ve Batarya):

İtki sistemi pervane, motor, motor sürücü devresi (hobi amaçlı olanlarda genellikle ESC olarak anılır), batarya bileşenlerinden oluşur. İtki sisteminin özellikleri, multikopter performansını (faydalı yük miktarı, havada kalış süresi, manevra hızı...) doğrudan etkiler. Motor, sürücü devresi, pervane ve bataryanın birbiri ile uyum içinde olması önemlidir.

Pervaneler ahşap, plastik veya kompozit malzemelerden seçilebilir. Genellikle disk "çapı x hatve" şeklinde adlandırılır. Örnek olarak 10x45 karbon pervane, karbon fiber malzemeden 10 inç çaplı 4.5 inç hatveli (bir tam dönüşte ilerleme miktarı, vida adımı) sahip pervaneyi tanımlar.

Farklı pal sayısına sahip olabilecek pervanenin yapısal olarak dayanıklı olmasının yanında, hafif ve düşük ataletli olması uçak performansı bakımından arzu edilir. Pervanelerde güvenli devir sayısı, pervanenin yapısal olarak hasar görmeyeceği maksimum devir sayısı olarak tanımlanabilir. APC Firmasının çalışmalarına göre pervanelerde güvenli devir sayısı (105000 rpm)/(d inç) formülü ile hesaplanabilir [7]. Yani 10 inç çapındaki bir pervanenin azami güvenli devir sayısı: 10500 rpm dir. Bunun yanında kaynak [7] de belirtilen formül belirli tip pervaneler için elde edilen deneysel bir formüldür ve kişiye özel tasarımlarda, tasarımcının pervane tipi, malzemesi, pal sayısı, üreticinin verdiği özellikleri dikkate alarak güvenli dönüş hızını belirlemesi gerekir.

Multikopter tipi uçaklarda verim ve hafiflikleri nedeniyle fırçasız elektrikli motorlar genellikle tercih edilir. Fırçasız motorlarda, hareketli olan dış kısımda sabit mıknatıslar, statik olarak bulunan iç kısımda bobin sarmaları bulunur. Fırçasız motorların sürülebilmesi için özel kurulmuş devrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu devrelerin hobi sektöründeki genel adı elektronik hız kontrolcüsüdür (electronic speed controller, ESC). Fırçasız motor sisteminin ne şekilde çalıştığı bu yazının konusu değildir. Bunun

yanında küçük ebatlı multikopterler için fırçasız motorlar stator yapısının dış çapı ve yüksekliği ile adlandırılır. Örnek olarak 7005 motoru, 70mm stator çapına, 5 mm stator (motorun yüksekliği ile karıştırılmaması) yüksekliğine sahiptir. Genel olarak bu değerler ne kadar büyükse motorun gücü o kadar yükselir. Hobi amaçlı multikopter motorları için bir diğer tanımlama kv değeridir. KV değeri, 1 Voltluk potansiyel artışında, yüksüz durumdaki devir sayısının değişimini tanımlar. 300kv lık bir motorda, 1 V potansiyel artışı yüksüz durum için dönüş sayısının 300 rpm artacağı anlamına gelir. Genel olarak düşük kv değerli motorlar yüksek tork üretir ve bu da daha geniş çaplı pervanelerin döndürülmesine olanak sağlar. Tasarlanacak olan multikopter için motor incelemesi detaylı olarak yapılmalı, uygun batarya, uygun pervane, uygun ESC modelleri tercih edilmelidir. Motor nominal voltajı, direnci, yüksüz akım gibi özellikleri dikkatlice gözden geçirilmelidir.

lidir. ESC (elektronik hız kontrolcüsü, (İng. electronic speed controller)), motora giden gaz kolu sinyallerine göre motorun dönüş hızını ayarlayan elektronik sürücü devresidir. Uygun motor ve batarya tipine göre belirlenmesi gerekir. Dikkate alınacak ilk husus, itki sisteminin çekeceği sürekli ve anlık akım miktarları ve kullanılacak bataryanın voltaj değerleridir. Motor-pervane-batarya seti değerlendirilerek uygun akım ve voltaj değerlerini karşılayabilecek ESC modelinin seçilmesi gerekir. Yetersiz veya yanlış ESC modelinin kullanılması motorların veya ESC nin kendisinin zarar görmesine ve bu nedenle uçağın kırım geçirmesine neden olabilir. ESC modelinin belirlenmesindeki ikinci önemli unsur, ESC nin yenileme hızıdır. Yenileme hızı düşük olan ESCler, gaz kolu değişimlerine geç cevap vereceği için uçağın kontrolünü güçleştirecektir.

Batarya, multikopter itki sisteminin güç deposudur. Küçük ebatlı multikopterlerde genellikle lityum polimer (LiPo), veya nikel metal hibrid (NiMH) tipi bataryalar kullanılır. Diğer elektronik özelliklerin yanında batarya seçiminde voltaj, kapasite ve deşarj oranı öne çıkan performans parametreleridir. LiPo bataryalar hücre sayısı, seri ve paralel bağlantı tanımlamalarıyla anılır. 3S2P Lipo batarya 3 seri bağlantılı, 2 paralel bağlantılı batarya tipini tanımlar. LiPo bataryalarda her bir hücre 3.7V'dır. 3S1P batarya 11.1V'dur. Paralel bağlantı kapasite miktarını artırırken, seri bağlantı potansiyel (voltaj) değerini yükseltir. Küçük ebatlı multikopterler bataryalarının kapasitesi genellikle mili-amper-saat (mAh) ile tanımlanır ve bataryanın devamlı olarak verebileceği akım süresini gösterir. Örnek olarak 5000 mAh kapasiteye sahip bir batarya, sürekli olarak 5 amper çeken itki sistemine, lineer kabullerle, 1 saat boyunca güç verebilir. Batarya voltajının zamanla düşmesi ve diğer etmenler nedeniyle deşarj oranı doğrusal olmayacaktır. Bu nedenle lineer bir yaklaşımla yapılacak hesap tasarım açısından yanıltıcı olabilir. Bataryanın azami deşarj oranı, bataryadan anlık çekilebilecek akım oranını gösterir ve "C" harfi ile anılır. 20 C özelliğine sahip 5000 mAh bir LiPo batarya, $5000 \times 20 = 10000$ mA yani anlık olarak azami 10A akımı desteklemektedir. Özellikle uçak ağırlığının itki sistemine oranına göre gereken akım miktarını tasarımcının dikkate alarak batarya seçimini buna göre yapması gerekir.

Son olarak, özellikle küçük ebatlı multikopterlerde itki sisteminin verimliliği, itki sisteminden alınan itki (Newton veya kgf)/harcanan güç (watt) şeklinde değerlendirilebilir. Farklı gaz kolu ayarında verimlilik değerleri değişir. Tasarım aktivitesinin, itki sisteminin azami verimliliğe sahip olduğu nokta dikkate alınarak yapılması uçak performansı açısından önemlidir.

Multikopterlerde özellikle (toplam itki/ağırlık) oranı olmamakla beraber uygun bir kontrol marjının olması adına azami (toplam itki/ağırlık) >2 olması yeterli olacaktır. Bunun yanında agresif manevra, uzun takat (havada kalış süresi) gibi değişkenlere göre bu oran değişebilir.

Oto-pilot (Uçuş Bilgisayarı ve Yazılımı):

Multikopterlerde kullanılan oto-pilot sistemlerine girmeden önce neden oto-pilot veya kararlılık destekleyici sistem kullanılması gerektiğini incelemekte fayda vardır. Bir uçağın, bir denge etrafındaki uçuşundan herhangi bir nedenle bozulmasından sonra, tekrar başlangıç durumuna gelme eğilimine kararlılık denebilir. Sarkaç saatlerdeki sarkaç (İng. pendulum) bir başlangıç noktasında serbest bırakıldığında ağırlığının etkisiyle merkez nokta etrafında birkaç salınım yaptıktan sonra bu noktaya yakınsar. Merkez noktası bu sistemin denge noktasıdır ve bu nokta etrafında sarkaçlı saat (sistem) kararlıdır. Düşey sarkaç (İngilizce: inverted pendulum) ise tam dik durumdayken dengede olabilir fakat küçük bir bozuntuyla bu noktadan uzaklaşır ve alt durumdaki denge noktasına gelir. Bu durumda düşey sarkaç, dik pozisyondaki denge noktası etrafında kararsızdır denilir.

Multikopterlerde de benzer bir durum vardır: ağırlık merkezinin bileşke kuvvet eksenine üzerine olduğu durum multikopterin denge noktasıdır. Bu denge noktası etrafındaki herhangi bir bozulma multikopterin denge durumundan uzaklaşmasına neden olur. Bu durumda multikopterler denge noktası etrafında kararsız sistemlerdir (Detaylı akademik çalışmalar için bakınız [8-10]). Multikopterler, mükemmellikten uzak özellikleri gereği (pervanelerin eşlenik olmaması, asimetri, motor performanslarının değişkenliği, ağırlık merkezi yeri, dış etmenler...) denge durumunda olsalar dahi sürekli olarak bu durumu koruyamazlar ve denge noktası etrafında kararsızdırlar. Bu nedenle multikopterlerin uçuşlarının sorunsuzca yapılabilmesi için sürekli bir kontrolcü müdahalesi gerekmektedir. Bu müdahalenin, insan kabiliyeti sınırlarının üzerinde olması nedeniyle, otomatik olarak yapılması gerekmektedir ve bu nedenle uygun otomatik kontrol yönteminin (PID, durum beslemeli, kayan kipli kontrol...) uçuş kontrol bilgisayarı içine kodlanması gerekir. Bunun yanı sıra, uçağın otomatik olarak istenen hedef noktasına gitmesi, belirli manevraları veya bir hedefi takip etmesi için de oto-pilot uygulaması gerekmektedir.

Multikopterler için gerekli oto-pilotlar iki alt yapıdan oluşur: donanım ve yazılım (İngilizce: firmware). Donanım, içinde (ya da ek olarak bağlı olacak şekilde) duyarılardan, gömülü yazılımın çalışması için gerekli mikro-denetleyici yapılarından ve gerekli giriş/çıkış bacaklarından oluşan elektronik yapıdır. Duyargalar genel olarak, jiroskop, ivmeölçer, manyetik pusula, küresel konumlama sistem (GPS), sonar veya lazer mesafe ölçerdir. Oto-pilot yazılımına göre çeşitlilik artabilir veya azalabilir. Örnek olarak GPS olmadan da bir multikopter uçuşu sorunsuz bir şekilde sağlanabilir ama belirli performans eksikleri olacaktır. Şekil 7'de hobi amaçlı kullanılan pixhawk oto-pilot donanımı GPS duyargası bağlantısı ile birlikte gösterilmiştir. Pixhawk oto-pilot donanımının içinde, ivme ölçer, manyetik pusula ve jiroskop duyargaları dâhili olarak bulunur. Bazı modelleri açık-donanım kaynağı şeklindedir [11].



Şekil 7. Pixhawk oto-pilot donanımı ve diğer bileşenler ile bağlantısı. Pixhawk donanımı farklı tip otopilot yazılımları ile kullanılabilir [12].

Gömülü oto-pilot yazılımının birinci görevi multikopterin doğal kararsızlığı* (doğal kararsızlık uçak/havacılık mühendisliği kavramıdır) ortadan kaldırarak uçağı her türlü uçuş şartında düzgün bir şekilde uçuşmasını sağlamaktır. İkinci görev, istenen hedef nokta takibinin veya görev profilinin yerine getirilmesidir. Üçüncü görev, varsa otonom karar verme yapılarıyla, istenilen görevlerin icrasının sağlanmasıdır. Gömülü yazılım, duyarılardan gelen verilerin alındığı, birleştirildiği ve gürültülerin filtrelendiği, otomatik kontrolcü yapısının kurulduğu ve uçağın durumuna ve pilotun isteklerine göre ilgili motorlara gönderilecek hareket komutlarının hesaplandığı ve gönderildiği beyin kısmını oluşturmaktadır. Kapalı kaynak oto-pilot yazılımlarının olduğu gibi açık kaynak oto-pilot yazılımları mevcuttur ve bunlardan bazıları şunlardır: Ardupilot, Openpilot, Paparazzi, Pixhawk, Mikrokopter, KKmulticopter, Multiwii, Aeroquad, Crazyflie, Craze-Pony, Elerobot, MegaPirateNG.

Görev Bilgisayarı:

Multikopterlerden farklı görevleri icra etmesi istenirse, oto-pilot üzerinde bulunan mikro-denetleyici ve oto-pilot yazılımı bu görevlerin icrası için yeterli olmayabilmektedir. Örnek olarak belirli bir GPS noktasında (doğrusu belirli bir koordinatta) multikopterden bir noktasının fotoğrafını çekilmesini istemek veya devamlı olarak hareketli bir hedefin görüntü işleme yöntemleriyle tespit edilip takip edilmesinin istenmesi multikopterin oto-pilot yazılımı ve mikro-denetleyici kart için zorlayıcı bir durum olabilir. Bu durumlar için Görev Bilgisayarı adı verilen harici bir bilgisayar veya mikro-denetleyici multikopter üzerine yerleştirilir. Küçük ebatları multikopterler için örnek olarak raspberry pi, raspberry pi nano, Jetson, beaglebone, intel NUC... harici bilgisayarlar sayılabilir. Örnek olarak "Accurate Landing of Unmanned Aerial Vehicles Using Ground Pattern Recognition [13]"

çalışmasında, pixhawk oto-pilot donanımı, ArduPilot gömülü oto-pilot yazılımı, Raspberry Pi görev bilgisayarı ve bağlı düşük bütçeli kamera kullanılarak, görüntü işleme metotlarıyla hassas iniş uygulaması yapılmıştır.

Sonuç

Bu yazımızda, akademik olmayan çevrelerce genel olarak drone adıyla tanınan, multikopter tipi uçaklar için temel düzeyde kavramsal bilgiler verilmiştir. Uçak, İHA, Drone ve multikopter kavramları açıklanmış, multikopterlerin ana bileşenleri tanımlanmıştır. Yazıda belirtilen bileşenler genel olarak hobi amaçlı multikopter uygulamaları için geçerli olmakla beraber, prensip olarak multikopter tarzı uçakların uçuş prensipleri hemen hemen aynıdır. Amaca yönelik olarak muhakkak farklı bileşenlerin eklenmesi veya farklı kontrol yöntemlerinin uygulanması muhtemeldir fakat bu yazının kapsamı arasında değildir. Yer kontrol istasyonu ve kumanda sistemleri kullanılan sistemlere bağlı olduğu için burada bahsedilmemiştir.

KAYNAKÇA

- [1] <https://store.bitcraze.io/>, erişim: 15.05.2021
- [2] <https://helihub.com/2016/04/08/electric-multicopter-the-volocopter-vc200-makes-first-manned-flight/>, erişim: 15.05.2021
- [3] <https://sozluk.gov.tr/?q=u%C3%A7ak&aranan=>, erişim: 15.05.2021
- [4] Reg Austin
- [5] <https://www.dji.com/flame-wheel-arf/feature>, erişim: 15.05.2021
- [6] Stanisław Anweiler, Dawid Piwowarski, Multicopter platform prototype for environmental monitoring, *Journal of Cleaner Production*, Volume 155, Part 1, 2017, Pages 204-211, ISSN 0959-6526,
- [7] <https://www.apcprop.com/technical-information/rpm-limits/>, erişim: 15.05.2021
- [8] A. Tayebi and S. McGilvray, "Attitude stabilization of a VTOL quadrotor aircraft," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 562-571, May 2006, doi: 10.1109/TCST.2006.872519.
- [9] Burggräf, P., Pérez Martínez, A.R., Roth, H. et al. Quadrotors in factory applications: design and implementation of the quadrotor's P-PID cascade control system. *SN Appl. Sci.* 1, 722 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0698-7>
- [10] Rahman, Yasir & Hajibeigy, Taghi & Al-Obaidi, Abdulkareem Sh & Cheah, Kean How. (2018). Design and Fabrication of Small Vertical-Take-Off-Landing Unmanned Aerial Vehicle. *MATEC Web of Conferences*. 152. 02023. 10.1051/mateconf/201815202023.
- [11] <https://pixhawk.org/>, erişim: 15.05.2021
- [12] <https://ardupilot.org/copter/docs/advanced-pixhawk-quadcopter-wiring-chart.html>, erişim: 15.05.2021
- [13] Wubben J, Fabra F, Calafate CT, Krzeszowski T, Marquez-Barja JM, Cano J-C, Manzoni P. Accurate Landing of Unmanned Aerial Vehicles Using Ground Pattern Recognition. *Electronics*. 2019; 8(12):1532. <https://doi.org/10.3390/electronics8121532>

Uçak Mühendisi Dr. Zafer ÖZNALBANT
ESOGÜ Uçak Müh. Bölümü
Öğretim Üyesi