

SAFE DRONES OVER SAFE ENVIRONMENT



HANDBOOK

DRONE- İnsansız Hava Aracı (İHA)

2020-2023 SAFE DRONES OVER SAFE ENVIRONMENT

Tempus Foundation Erasmus +

2020-1-RS01-KA202-065370

İçindekiler

1 Giriş.....	6
2 Tarihçe	8
3 İHA Ana Parçalar.....	12
3.1 Drone Yapısal Malzeme.....	13
3.2 Drone Gövde Türleri	15
3.3 İHA Gövdesi	17
3.4 İtici Gücü.....	18
3.4.1 Havacılıkta İtici Gücü Türleri	18
3.4.2 Drone İtici Gücü Türleri	25
3.5 Havacılık Yakıt Türleri-İtici Gazlar	Error! Bookmark not defined.
3.5.1 Yakıtın Temel Özellikleri.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2 Hidrojen Yakıtlar	29
3.5.3 İtici Gaz Olarak Güneş Enerjisi.....	30
3.5.4 Yakıt Hücresi Çeşitleri ve Seçim Yöntemi.....	31
3.5.5 Yakıt Pili Hibrit Sistemi	31
3.5.6 Hidrojen Enerjisi.....	31
3.5.7 Hibrid Batarya	32
3.6 Bilgisayar ve Elektronik Sistemler.....	33
3.6.1 Sensörler	34
3.6.2 İvmeölçer	35
3.6.3 Jiroskop.....	36
3.6.4 Sensör Entegrasyonu ve Sinyal Füzyonu	37
3.6.5 Büyük Mesafelerdeki Hassas Sensörler	39
3.6.6 Radar SAR.....	40
3.6.7 Lidar sistemi	47
3.6.8 Yazılım	49

3.6.9 Navigasyon Sistemi	50
3.6.10 Eylemsiz Navigasyon Sistemi (INS)	50
3.7 Uçuş Kumandaları, Yönetimi ve Stabilitesi	55
3.8 Uçuş Otonomisi	59
3.9 İHA Otonom Uçuş Araştırma ve Geliştirme Projesi	64
3.10 İHA Klasik Aerodinamik Şemaları	66
3.11 Dört Rotorlu İHA (Quadrotor)	68
4 İHA'nın sınıflandırılması, Amacı ve Kullanımı	74
4.1 Menzil, Uçuş ve İrtifasına Göre İHA Kategorileri	76
4.2 Dronelerin Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı	81
4.2.1 Askeri Amaçlar için Drone Kullanımı	81
4.2.2 Tarım Alanında Drone Kullanımı	92
4.2.3 Teslimat	95
4.2.4 Küçük İHA'lar	97
4.2.5 Sivil Amaçlı Kullanım	98
4.2.6 Hobi Amaçlı Kullanım	100
4.2.7 Acil Kurtarma Müdahale Drone'ları	103
4.2.8 Çığda Kaybolan Kişilerin Yerini Bulan Drone'lar	105
4.2.9 Drone Uzay Uçuşları	105
4.2.10 Tıp Alanında Drone Kullanımı	106
4.2.11 Film Çekimi ve Spor Etkinlikleri için Drone Kullanımı	107
4.3 İHA Kullanım Amacı	108
4.3.1 İHA Uygulama Teknolojisi	110
4.3.2 Drone Teknolojisi	114
4.3.3 Türkiye'de İHA	115
5 İHA Yönetmeliği ve Uygulama Alanlarına Göre Ayrılma	115
5.1 Yönetmelik	115
5.2 Avrupa Yönetmeliği	116
5.3 ABD Yönetmeliği	118
5.4 İzlanda Yönetmeliği	119
5.5 Japonya Yönetmeliği	120
5.6 Sırbistan Yönetmeliği	120
5.7 Drone Operatörünün Görevleri	122

6 Uçuş Güvenliği ve Hazırlık	122
6.1 Güvenli Drone Uçuşu için Temel Parametreler	123
6.2 Minimum ve Maximum Güvenlik.....	124
6.3 Uçuş Hazırlığı Türleri ve Metotları.....	125
6.4 Yönetim Türlerini Seçme Yöntemleri.....	126
6.5 Verilen Koordinatlarda Otomatik Uçuş	127
6.6 Serbest Uçuş.....	127
6.6.1 Mesafe Kuralları	128
6.7 Uçuş Güvenliği Yazılımları	129
6.8 Çalışma Frekanslarının Seçimi	129
6.9 Drone Teknolojisi, Gelecekteki Kullanımı ve Uygulanması	130
6.10 İHA Gelişim Süreci.....	136
6.11 İniş Özellikleri.....	136
6.11.1 Gelişmiş Kontrol Sistemleri	137
6.11.2 Çocuklar için Dronelar	137
6.11.3 Çarpışma Kontrolü	137
7 Havacılık meteorolojik raporları.....	138
7.1 METAR Raporu	138
7.1.1 METAR raporundaki grupların anlamının açıklaması	139
7.1.2 Normal Rapor Örneği	142
7.2 SPECI Raporu	142
7.2.1 Özel rapor örneği	143
7.3 Havacılıkta Meteorolojik Tahminler.....	143
7.3.1 Kalkış Hava Tahminleri.....	143
7.3.2 Bölge ve Rota için Hava Tahminleri	144
7.3.3 Havalimanı için Hava Tahminleri	144
7.3.4 İniş Hava Tahmini	146
7.3.5 TAF and TREND Hava Tahmini.....	147
7.3.6 Havalimanı Hava Tahmini Örneği	147
8 Kaynakça.....	151

1. Önsöz

"Safe Drones Over Safe Environment" Erasmus+ projesi (2020-1-RS01-KA202-065370), endüstrinin en önemli ihtiyaçlarından olan teknolojik yenilik ve çevresel performansın iyileştirilmesi için işbirliği sunmaktadır. Bu stratejik ortaklık, dört havacılık Mesleki Eğitim ve Öğretim kurumu arasında işbirliği yapılarak hayata geçirilmiştir.

- ✂ Aksu Uçak Bakım Teknolojisi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Antalya, Türkiye,
- ✂ Istituto Tecnico Commerciale "G.P. Chironi", Nuoro, Italya,
- ✂ Asociacion Centro Benefico Ada Avenida Turia, Sevilla, İspanya,
- ✂ Aviation Academy (Vazduhoplovna akademija), Belgrad, Sırbistan,

Proje, kurum ve katılımcıların eğitsel ve teknik kapasitelerini arttırarak ve kurumları uluslararasılaştırarak, okullarımızı daha ileri bir seviyeye taşımak için deneyimlerin ve iyi uygulamaların paylaşılmasını sağlamış ve kurumlara uluslararası alanda işbirliği yapma fırsatı vermiştir.

El kitabı, proje süresince yapılan tüm araştırmaların, analizlerin ve sonuçların bir derlemesi olarak, proje boyunca yapılan tüm araştırmaları içeren bir kılavuz niteliğindedir. El kitabı son sürüm olarak çevrimiçi yayınlanmıştır ve yalnızca katılımcı okulların değil, diğer tüm paydaşların, havacılık öğrencilerinin ve öğretmenlerinin kullanımına açıktır.

Kitap öncelikle İngilizce olarak yayınlanacaktır ve daha sonra ortak okulların ana dillerine tercüme edilecektir. A4 formatındaki öğretim materyalleri, materyalin sınıfta kolayca kopyalanmasını ve kullanılmasını sağlar. El kitabının kullanımı (ana dile çevrilmiş) her okulun müfredatına entegre edilmiştir ve Milli Eğitim Bakanlığı / Mesleki Eğitim ve Öğretim merkezleri tarafından onaylanan / güncellenen konuları kapsamaktadır. El kitabı, Avrupa'daki havacılık okullarında tamamen veya kısmen didaktik ve eğitici bir kaynak olarak veya drone ve çevresel veri koleksiyonlarının ileri araştırmaları ve iyileştirmeleri için bir başlangıç noktası olarak kullanılabilir. Bu çıktı, tüm Avrupa'daki ortaöğretim havacılık okullarında yer alan tüm öğretmenler için büyük önem taşıyacak ve her okulun müfredatına bağlı olarak birincil veya ikincil öğretim kaynağı olarak kullanılabilir. İlk versiyon olarak yayınlanan bu öğretim materyali, havacılık öğretmenlerinin yenilikçi katkılarına ve Avrupa havacılık okulları arasında kurulması beklenen işbirliğine bağlı olarak proje bittikten sonra genişletilebilir ve geliştirilebilir.

Bu el kitabı, Avrupa Birliği'nin Erasmus+ programı tarafından finanse edilen "Safe Drones Over Safe Environment" (2020-1-RS01-KA202-065370) projesi kapsamında oluşturulmuştur.

1. Giriş

İnsansız Hava Aracının (İHA) uçuş ekibi yoktur. Bir navigatör (pilot) tarafından, yer sinyallerin uzaktan iletimi ile, sudaki veya hava sahasındaki araçlardan veya çoğunlukla kontrol istasyonlarından kontrol edilir. Kontrol yöntemi, İHA'nın kategorisine, amacına ve özel görevine bağlıdır. Uçuş, programlanmış bir güzergaha göre otonom da olabilir. Çoğu zaman insansız hava aracı, pilottan sinyal alımı aracılığıyla güzergahın belli bölümlerini otonom olarak gerçekleştirerek kombine bir şekilde uçar. Otonom uçuşta, güzergahın o kısmına karşılık gelen belirli bir durum vektörü için veriler önceden depolanır. Bu bağımsız uçuş bölümü, yalnızca otomatik pilotu kontrol eder ve destekler. İnsansız uçuşlar, özellikle büyük teknik potansiyele ve malzeme potansiyeline sahip ülkelerde, tüm havacılık kullanım dallarında ve tüm insan faaliyetlerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bunun başlıca nedeni, itki gücü, mikroelektronik, otomasyon için güçlü sofistike sensörlerin geliştirilmesi, yapay zeka, robot bilimi gibi teknoloji geliştirme anlayışının hızla değişmesidir. Askeri uygulamalara yönelik İHA, öncelikle potansiyel bir düşman üzerinde muharebe prestiji elde etmeye hizmet eden ileri teknolojilerin geliştirilmesine yapılan en büyük yatırımın yolunu açmaktadır. Askeri rekabet, yüksek ve ayrıcalıklı askeri bütçelerle sağlanmaktadır. Bu teknolojilerin askeriye özel olma durumunun sona ermesiyle, İHA'lar geniş kullanım alanına kavuşmuştur. İHA'lar ilk geliştirilme aşamasında, hava savunma sisteminin operatörlerini kontrol etmek ve eğitmek için hava sahasında hedef olarak kullanılmıştır.

Daha önceleri, pilotun son uçuşta dengelediği (trim yaptığı) ve atıştan hemen önce güvenli ve serbest hava sahasının bir bölümünde bıraktığı, operasyonel kullanımdan emekli olan eski uçaklar bu amaçla kullanılıyordu."İntihar bombacıları" diye anılan tek kullanımlık bu İHA'lar, patlayıcılarla doluydular ve seyir füzelerine benzer şekilde özellikle önemli hedefleri yok etmek için kullanılırlardı.

Günümüzde İHA'ların kullanım amacı önemli ölçüde genişledi, askeri kullanım dışında sporda, ekonomide ve ne yazık ki terörizmde de yaygın olarak kullanılmaktalar. Teknolojinin daha da gelişmesiyle, İHA kullanım amacı ve kapsamı her geçen gün genişlemektedir ancak kötüye kullanımın kontrol edilmesinin giderek zorlaşması bu durumu küresel bir sorun haline getirmektedir.

İHA öncelikle çok amaçlı kullanım için tasarlanmış olup, diğer hava araçları gibi havacılığın tüm kurallarına göre tanımlanmış ve gerektiğinde operatör tarafından uzaktan kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Seyir füzelerinin uçuşu, seçilen kendi kendini yönlendirme ve hedef tanıma ilkesi kullanılarak otonom olarak gerçekleşir. Kabin ve uçuş ekibinin (pilot) olmaması ve uçuş için gerekli diğer koşullara gerek duyulmaması, İHA'yı pilotlu hava aracından farklı kılar.

Kalkış - iniş tekniği ve ilkesi genellikle pilotlu bir uçakla aynıdır ve ayrıca fırlatma düzeneği ve paraşütle iniş gibi çözümleri de vardır. Karadan, gemilerden ve son zamanlarda nakliye uçaklarından da kalkış yapılabilmektedirler.

İHA'nın aerodinamik ve konstrüksiyon şeması için helikopter standartlarından çok uçak standartları kullanılmaktadır. Standart dışı uçan platformlar da giderek daha fazla kullanılmaktadır.



Şekil 1: Yugoslav Halk Ordusu (YPA) radyo kontrollü (RC) hava savunma eğitim uçağı

İHA'ların en yaygın kullanımı askeri alandır. Askeri İHA'lar giderek daha zorlu görevler için eğitilmiştir. İlk zamanlarda yalnızca keşif ve casusluk amaçlı kullanılan İHA'lar daha sonra çok daha zorlu görevler olan havadan yere ve havadan havaya muharebe görevleri için de kullanılmıştır. ABD Hava Kuvvetleri, 2047 yılına kadar operasyonel kullanımdaki İHA filosunda büyük bir artış sağlamayı planlamaktadır ve dünyadaki diğer orduların da benzer planları bulunmaktadır.

Altıncı nesil savaş uçaklarının mürettebat kullanma alternatifini ile insansız olacağı kesinleşmiştir. Yedinci nesil uçakların öncelikle insansız olmasını beklemek gerçek dışı değildir. İnsansız savaş uçakları ve diğer hava araçları (uzaktan kontrol edilebilen) ile İHA arasındaki ayrım hala net değildir. Uzmanların bu konuda henüz net bir görüşü bulunmamaktadır.



Şekil 2: İHA için aydınlatma sistemi.

İnsansız hava araçları konusunda çok çeşitli proje ve tasarımları bulunmaktadır. Böcek ebatındaki İHA'lerden tutun da uçan yakıt tanklarının boyutlarında ve birkaç tonluk savaş İHA'larına kadar iki uç arasında değişen büyük bir boyut aralığı vardır.

2.Tarihçe

İnsansız hava aracı teknolojisinin gelişiminin tarihsel bir değerlendirmesi, deha Nikola Tesla'nın "çocuğu" olan radyo sinyaliyle komut iletme ilkesine dayandığı sonucuna dayanmaktadır. Nikola Tesla, bu dahiyane buluşunu 613.809 numara altında patentlemiştir. Modern robotiğin dayandığı radyo kontrol (RC) olarak bilinen bu buluş, insansız hava aracı teknolojisinin temeli haline gelmiştir. Nikola Tesla ilk olarak on dokuzuncu yüzyılın sonunda araç hareketinin uzaktan kontrolünü gösterdi. 1898'de Madison Square Garden'da bir gölde radyo sinyali kullanan bir gemi modelinde uzaktan kontrol sisteminin kullanımını ilk kez gösterdi. Dünyanın Nikola Tesla'ya çok şey borçlu olduğu ve büyük takdiri hak ettiği bu olay, tarihte radyo dalgalarının bu türde ilk kullanımıdır. Tesla, bu icadı ile hem insansız hava araçlarının hem de diğer ileri teknolojilerin daha da geliştirilmesi için temelleri atmış ve bu teknolojilerin potansiyeline dikkat çekmiştir. Ancak bu tarihi gerçek, günümüzde hakettiği kadar öne çıkarılmamaktadır.

Daha somut yaklaşımlar ve İHA'nın gelişimi yirminci yüzyılın başlarına kadar uzanır. O zamanlar, öncelikle uçaksavar savunma (AAD) topçu mürettebatının eğitimi için hava sahasında hedef olarak belirli nesneleri kullanma düşüncesi vardı. İnsansız hava araçlarının gelişimi Birinci Dünya Savaşı sırasında da devam etti. Ardından Dayton-Wright havayolu, pilotsuz, belirli bir zamanda patlayacak şekilde önceden ayarlanmış uçan bir torpido geliştirdi.

Gelişmiş ülkelerin önde gelen ordularında Birinci Dünya Savaşı sonrasında ve İkinci Dünya Savaşı sırasında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Nazi Almanyası da o dönemde çeşitli İHA'lar üretti ve kullandı. II. Dünya Savaşı'nda ordu, hava sahasındaki hareketli hedefleri izlemek üzere uçaksavar topçu operatörlerini eğitmek için uçan hava aracı modellerini kullandı. Tatbikat, 1898'de, havada uçan hareketli bir hedefin silahın namlusunu çevirerek ve görüş alanına bir radyo sinyaliyle vurarak açışal olarak izlenmesine indirgendi. Burada kullanılan benzetme, silah namlusunun açışal dönüş hızının hem yüksek hızda ve yüksek irtifada hedef hareketi durumunda hem de düşük hızda ve düşük irtifada aynı olmasıdır. Topla hareket eden bir asker için tatbikat amaçlı güvenilir bir silahtır ve dolayısıyla o eğitim seviyesi için temel koşullar karşılanmıştır. Yugoslav Halk Ordusu (YPA) da hava savunma topçu batarya ekibini eğitmek için bu yöntemi kullandı. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, uçak itki gücü için jet motorlarının kullanılmaya başlanmasıyla, İHA'lar önemli ölçüde geliştirildi ve askeri amaçlı operasyonel kullanım başladı. İHA'lar Vietnam Savaşı'nda keşif, hedeflerin lazerle işaretlenmesi ve insanlı hava araçlarının daha önemli hedeflere yönlendirilmesi görevlerinde yaygın olarak kullanıldı.

Pilotların düşman topraklarında büyük kayıplar vermesinden endişe duyan Amerikan Hava Kuvvetleri, 1959'da insansız hava araçlarının konuşlandırılmasını ve kullanılmasını planlamaya başladı. Sovyetler Birliği'nin 1960 yılında keşif U-2 uçağını düşürmesinin ardından planlama hızlandı. Kod adı "Red Wagon" olan son derece gelişmiş bir İHA geliştirme programı kısa süre sonra başlatıldı. Ağustos 1964'te Amerikan ve Kuzey Vietnam donanmalarının

birimleri arasında Tonka Körfezi'ndeki askeri çatışma, Vietnam Savaşı'nda Amerikan insansız hava araçlarının savaşta kullanımını arttırdı.

Çin Halk Cumhuriyeti Hükümeti, düşürülen Amerikan insansız hava araçlarının fotoğraflarını gösterdiğinde, resmi Amerika makamları "yorumsuz" kaldı. Ancak daha sonra 1973 yılında Güneydoğu Asya'da (Vietnam) İHA kullandıklarını doğruladılar.

Bu savaşta 5.000'den fazla Amerikan havacısı öldürüldü ve 1.000'den fazlası kayıp olarak bildirildi veya esir alındı. USAF'nin 100. Stratejik Keşif Kanadı, bu savaş sırasında 554 birim kaybederek 3.435 insansız hava aracı görevi gerçekleştirdi. Hava Kuvvetleri Komutanı General George S. Brown 1972'de şöyle demişti: "İHA'ları kullanmamızın tek nedeni, uçakların kokpitlerindeki insanların hayatını gereksiz yere riske atmak istemememizdir." O yılın ilerleyen günlerinde, Stratejik Hava Komutanlığı Başkomutanı General John C. Meyer ise şunları söyledi: "Dronları yüksek riskle kullanıyoruz, kayıplar yüksek, ancak bunlara katlanmaya hazırız ve böylece pilotların hayatını kurtarmış oluyoruz."



Şekil 3 solda: İHA Ryan 147, sağda: Ryan Firebee, geliştirilen bir dizi İHA'dan biridir; 1951'de uçtu

1973 Yom Kippur Savaşı'nda İsrail, insansız hava araçlarını yem olarak kullanarak düşman kuvvetlerine mümkün olduğu kadar çok sayıda pahalı uçaksavar füzesi fırlatıp tüketmeleri için meydan okudu. Bu savaştan sonra, bu ucuz İHA'ları geliştiren birkaç kilit ekip üyesi, onları ticari bir ürün olarak geliştirmeye başlayan küçük bir şirkete katıldı. Sonunda bu durum, İsrail'in ilk önemli askeri İHA'sının geliştirilmesinin temeli oldu.



Şekil 4 İsrail'in 1975'te fırlatılan ilk taktik İHA Madiran Mastiff'i

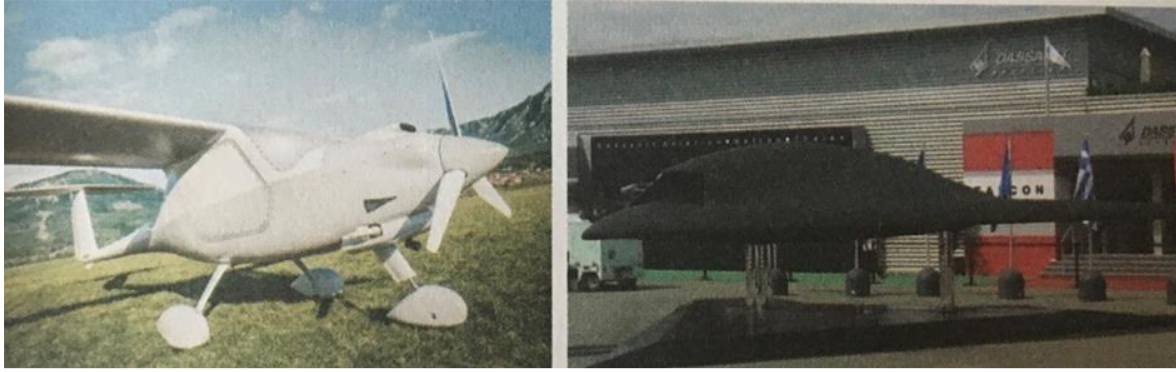
1973 savaşı sırasında, Mısır ve Suriye'deki Sovyet karadan havaya füze bataryaları, İsrail savaş uçaklarına ağır kayıplar verdirdi. Bu deneyime dayanarak İsrail, uzaktan control edilebilen ve gerçek zamanlı alan kaydına sahip ilk İHA'yı geliştirdi. Bu İHA'lardan alınan fotoğraflar ve radar verileri, İsrail'in 1982'de Lübnan savaşının başlangıcında Suriye hava savunmasını tam olarak tespit etmesine ve daha sonra etkisiz hale getirmesine yardımcı oldu.

Süper manevra uçuş kontrolü konsepti, uçağın kaldırılmasından "kırılmasından" sonra bile (kuyruk verimliliği sona erdiğinde) İsrail'de ilk kez 1987'de uygulamalı olarak kanıtlandı. Bu, İHA üzerindeki itme jet motorunun itme vektörünün üç boyutlu kontrolünün ileri teknolojilerinin uygulanması temelinde gerçekleştirildi. Bu olay, çok zorlu bir araştırma ve geliştirme görevi ile gerçekleştirildi. İlk nesil İHA'lar öncelikle keşif görevleri için kullanıldı, daha sonra, çok sayıda gözetleme görevi ve FRY'deki saldırı sırasında kazanılan deneyimden sonra, ABD Hava Kuvvetleri, MQ-1 avcı uçakları ve silahlı havadan yere füzelerle donatıldılar.



Şekil 5. US Predator MK-1, havadan yere AGM-114 Hellfire roketini fırlatıyor

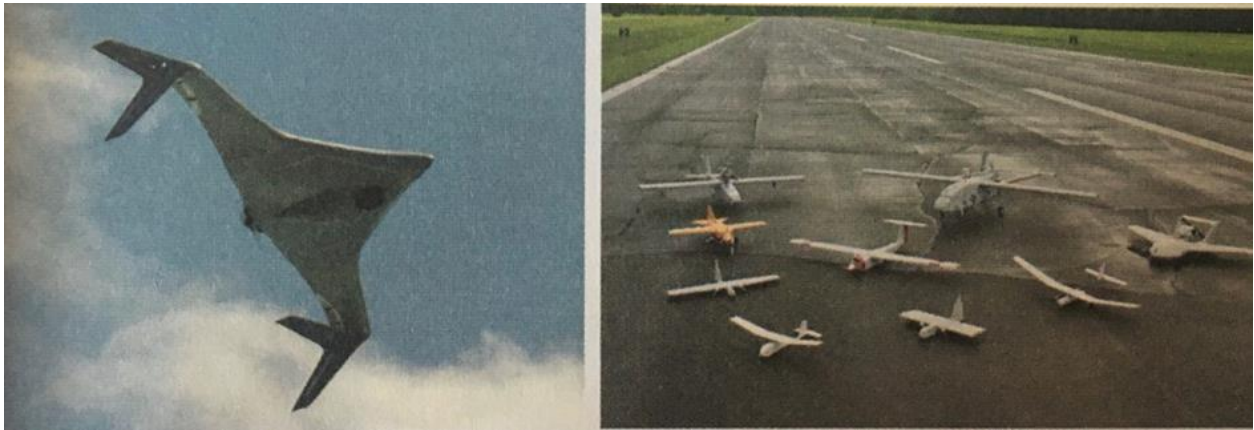
Yirminci yüzyılın sonlarında uygulanabilir teknolojilerin gelişmesi ve minyatürleşmesiyle birlikte Amerikan ordusunun en tepesinde İHA'lara olan ilgi arttı. 1990'larda İsrail şirketleri AAI ve Malat ile karşılıklı işbirliği anlaşması imzalandı. ABD Donanması, AAI ve Malat tarafından geliştirilen ve üretilen AAI Pioneer İHA'yı satın aldı.



Şekil 6 solda: İHA'nın gerçekleştirilmiş birçok konfigürasyonundan biri, sağda en ünlü modeli Avrupa İHA Nero

Bu dronların birçoğu 1991 Körfez Savaşı'nda operasyonel kullanıma alındı. Pilotu kaybetme riski olmadan, gerçekleştirilen görevin etkililiği ve uygun maliyetler açısından yüksek bir performans gösterdiler. 2012 yılında ABD Hava Kuvvetleri operasyonel kullanımda 7.494 İHA'ya sahipti. Bu, ABD Hava Kuvvetleri 11 tipindeki toplam uçak sayısının neredeyse üçte biriydi. Bu sayı her yıl artmaktadır. Merkezi İstihbarat Teşkilatı (CIA) da İHA'lara sahiptir ve bunları operasyonel görevlerde kullanır.

UAV Neuron (nEUROn olarak stilize edilmiştir) bir Avrupa deneysel İHA'sıdır. Tanınmış Amerikan V2 "spirit bomber" uçağına benzer şekilde "uçan kanat" aerodinamik şeması prensibine göre görünürlüğü azaltılmıştır. Bu uçağın geliştirici firması Fransız şirket Marcel Dassault'dur.

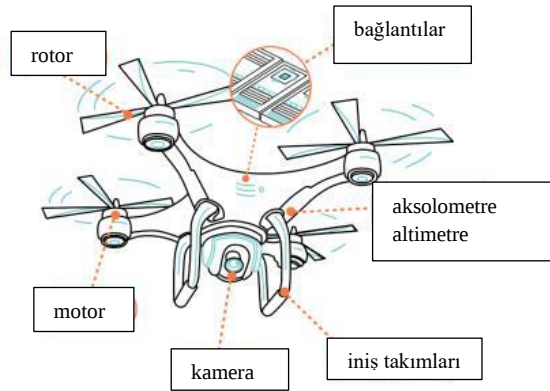


Şekil 7 solda: Gruman'ın İHA'sı EO / IR ve SAR sensörleri, lazer telemetre, lazer işaretleyici ve kızılötesi taşıyor(IR) kameralar, sağ: 2005 yılında Amerikan İHA'larının sergilenmesi.

3. İHA Ana Parçalar

Dronlar, uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen, talimat verilebilen, video ve görüntü kaydı yapabilen insansız hava araçlarıdır. Drone, pervane, motor, gövde ve uçuş kontrol kartı gibi bileşenlerden oluşur. Bir dron, bir çerçeve (gövde), iniş takımı, motorlar, pervaneler, Esc (Elektronik Hız Kontrol Cihazı), uçuş kontrolörü (Uçuş Kontrolörü- Otopilot) ve GPS alıcısı, uzaktan kumanda ve alıcı, görüntü aktarım sisteminden (FPV) oluşur ve bunlara ek olarak bataryaları vardır.

Gövde yapısındaki fark, dronun helikopter veya uçaklardaki gibi kokpit bölmesinin bulunmamasıdır. Dronların üzerinde birden fazla rotor bulunur. Helikopterlerin aksine, rotor sayısı 4 ila 8 arasında değişmektedir. Dronlar, rotor bağlantıları sayesinde helikopterlerdeki dengeleme işlemini gerçekleştirebilmektedir. En büyük avantajları insansız hava araçları olmalarıdır.



Şekil 8. İHA Parçaları

Dron üzerinde çeşitli sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler, toplanan verilere dayanarak uçuş komutları verir. Manyetometre, jiroskop ve ivmeölçer, dronun yön vektörü, stabilite ve hızlanma bilgileri sinyallerini verir. İstenilen seviyede kalkış ve iniş yapabilmek ve otonom uçuş yapabilmek için motorlar belli bir algoritmaya göre çeşitli çalışma modları oluşturur.

3.1 Yapı Malzemeleri

✂ Fiberglas Drone Seti

Fiberglas drone kiti daha çok küçük ve orta ölçekli İHA'larda kullanılmaktadır. Metal malzemeler ile karşılaştırıldığında, fiberglas kompozit malzemeler ağırlık olarak daha hafiftir.



Şekil 9. Fiberglas İHA

✂ Alüminyum Dron Gövdesi

Metal malzemeler arasında yer alan alüminyum alaşımları nispeten daha düşük maliyetli ve daha hafiftir, gerekli hafiflik kriterlerini karşılar, ancak alüminyum alaşımlı gövde, uçuş sırasında kararsızlığa neden olacak dış kuvvetlere maruz kaldığında bükülme deformasyonuna eğilimlidir.



Şekil 10. Alüminyum İHA

✂ Mühendislik Ürünü Plastik Dron Seti

Mühendislik ürünü plastikler de hafif malzemelerdir ve küçük dronların gövde üretimi için daha uygundurlar, ancak hava direnci bu dronların uçuşu sırasında açıkça hissedilebilir.



Şekil 11. Plastik İHA

✂ Karbon fiber dron gövdesi

Karbon fiber kompozit malzemeler sahip oldukları mükemmel mekanik özellikler ve ağırlık azaltma avantajları nedeniyle birçok İHA üreticisi tarafından tercih edilmektedir.

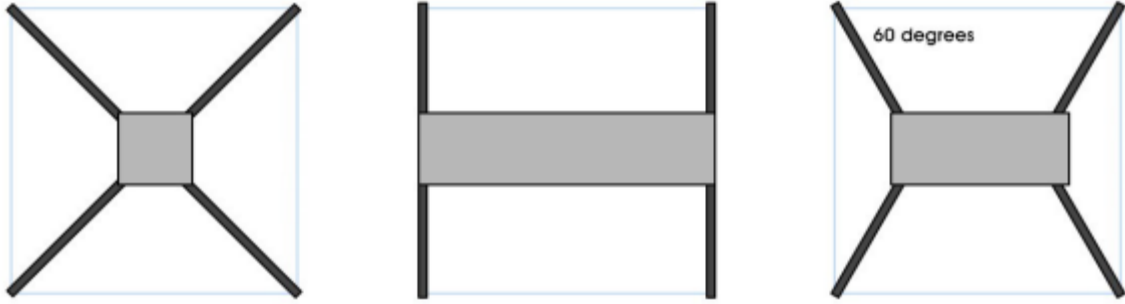


Şekil 12. Karbon Fiber İHA

3.2 Drone Gövde Türleri

✂ Quadcopter

En çok kullanılan dron türüdür. Saat yönünde hareket eden iki motoru ve saat yönünün tersine hareket eden diğr iki motoru vardır. Bu, dronun açısal momentumunu sıfırlar. Birçok uçuş kontrol stiline uygun bir yapıya sahiptir. Quadcopter'ların 3 farklı modeli bulunmaktadır.



şekil 13. Quadcopter

✂ X Gövde

Dronu DIY (kendin yap) olarak tasarlamak, diğr gövde türlerinden daha kolaydır. X gövdenin gövde ebatının küçük olması nedeniyle diğr quadcopter tiplerine göre kolları daha uzundur.



şekil 14. X Gövde

✂ H Gövde

Quadkopterler arasında gövde alanı en fazla olan drone çeşidi H gövdedir. Bu gövde sayesinde pilin kullanılabileceği alan, görüntü aktarım ekipmanı, iletişim sistemleri, uçuş bilgisayar ve kamera drona rahatça monte edilebilir. H gövdenin en önemli avantajı; kameranın iniş takımları yerine doğrudan orta gövde üzerinde olmasıdır.



Şekil 15. H gövde

✂ Hibrid X Gövde

Kolların 60 dereceye ayarlanması, vücudun H gövdeye göre %60 oranında kısaltılmasını sağlar. Her ikisinin de aynı malzemeden yapıldığını varsayarsak, H gövdesinden %60 daha hafif bir gövdeye sahiptir. Aynı boyuttaki bir X gövdeye kıyasla kolları %16 daha kısadır. Kamera, H gövdenin içinde bulunur.



Şekil 16. Hibrid X Gövde

Drone'lar sivil havacılığın ve askeri havacılığın pek çok alanında kullanılmaktadır. Sağlık sektörü, ziraat ve tarım uygulamaları, fotoğrafçılık ve sinema sektörü, haritacılık, kargo, trafik ve güvenlik dronların kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir.

3.3 İHA Gövdesi

İnsanlı bir hava aracı ile aynı İHA şeması arasındaki kabin düzenindeki temel fark, İHA'ların kokpitsiz ve penceresiz olmasıdır. Genellikle uygulanan İHA proje şeması, genellikle dört veya sekiz olmak üzere birkaç helikopter rotorlu (döner kanatlı) bir projedir. Kuyruk yüzeyi olmayan uçaklar şunlardır: Helikopter olarak bilinen, bir veya iki rotora ve itki rotorları tarafından üretilen sapma momentini dengelemek için bir daha küçük kuyruğa sahip mürettebatlı hava araçları.

Dört helikopter rotorlu (kare) tasarım şeması, bu şema insanlı hava araçlarında nadiren kullanılmasına rağmen, öncelikle küçük İHA'lar için popüler hale geldi. Kullanımdaki geniş avantajları nedeniyle, İHA projesinin diğer kavramsal şemalarının kademeli olarak önüne geçen tür dört rotorludur (rotorlu dört motor). Ayrıca, sekiz sürücü kiti vardır. Bu tür İHA'lar, kablosuz haberleşme ile verimli ve uzun süre otonom olarak uçabilen uçan platformlardır. Konumlarını değiştirmeden çevreyi izleyebilirler, doğal afetler, hava durumu ve diğer koşullar hakkında bilgi toplamak için uzun süre yerlerinde kalabilirler. İHA proje planlama programı, öncelikli olarak iletişim, sensörler, uçuş komutları ve toplanan verilerin yönetimi görevlerden oluşur. Kablosuz alıcı-vericiler, mikro komutlar tarafından quadrotor kontrol ünitelerine gönderilen sinyalleri kullanır. İvmeölçer, jiroskop ve manyetometre, uçağın hızlanma, stabilizasyon ve yön vektörü sinyallerini iletir. Quadrotor'un uçuşunu istenen açısız eğim, yükselme, havada asılı kalma veya alçaltma aşamalarında elde etmek için motorlar, uygun algoritmaya göre belirli kuvvetleri elde etmek için çalışma modlarını değiştirir. Hava durumu sensörleri, belirli bir modele göre bilgi toplar ve bu veriler daha sonra detaylı işlenir. Quadrotor'un amacı, insan katılımının zor olduğu koşullarda bölgeyi ve hava koşullarını izlemektir. Quadrotor, irtifayı ve uçuş hızını değiştirmek, kontrol ve stabilizasyon için dört döner motor kullanan bir İHA'dır. Klasik uçaklardan farklı olarak, quadrotor, irtifa değiştirmeden uzun süre dikey uçuş yapabilir, havada asılı kalmayı başarabilir ve sürdürebilir.



Şekil 17: Sekiz rotorlu helikopter İHA

Quadrotor, bunun için daha küçük bir kuyruk rotorunun eklenmesi gereken helikopterlerde olduğu gibi, itki rotorlarının dönüşünden kaynaklanan dönüş momentinin telafisi için yapıcı bir çözüm ihtiyacı yükü taşımaz. Ayrıca, projenin genel olarak gerçekleştirilmesi, klasik uçak

konfigürasyonlarına göre daha basittir ve çalışır durumda tutulmasının maliyeti daha azdır. Teknoloji geliştikçe ve maliyetler düştükçe, birçok mühendis ve araştırmacı, daha iddialı amaçlar için Quadrotorlar tasarlamaya başladı ve bunları büyük ölçüde gerçekleştirdi. Aynı durum iki kat daha fazla rotorlu motora (sekiz) sahip İHA'lar için de geçerlidir. Ordu, mühendisler, araştırmacılar, hobiciler gibi profesyonel gruplar, quadrotor'un birçok alanda kullanım alanını genişletiyor. Bu nedenle çok sayıda proje başlatıldı. Bunun nedeni, quadrotor'u farklı ve genellikle çelişkili taktik - teknik gereklilikleri karşılayacak şekilde uyarlamamanın kolay olmasıdır. Bu açıdan, diğer birçok İHA kavramsal şemasının önündedirler.

Ancak, tek bir itki grubu (motor ve pervane) kullanan, çift kanatlı uçak ve helikopter özelliklerini birleştiren başka bir çözüm daha var. Dört yarım kanadın tamamı olan çıkış kısımları aynı zamanda kalkış ve iniş sırasında yerle temas eden kısımlardır. Bu tasarım şeması, 110 km/h'ye kadar nispeten hızlı bir uçağa hızlı dönüşüm olasılığı ile dikey kalkış, iniş ve havada asılı kalmayı mümkün kılar. İHA tasarımında daha toplu uygulama perspektifine sahip, basit ve çok pratik bir konsepttir. Ayrıca uygulaması için tıpkı Quadrotor gibi pist gerektirmez.

3.4 İtici Gücü

Drone'ların performansı çoğunlukla itki sistemine bağlıdır. Bir itki sistemi seçerken, uçağın amacına dikkat edilmelidir, çünkü seçimde kilit faktör budur. Örneğin, bazı askeri insansız hava araçları, hafif olmayan ve çevresel gereklilikleri karşılaması gerekmeyen, her ne kadar bu iki etkenin karşılanması önemliyse de, daha güçlü motorlar gerektirir. İtici sistemini seçmek kolay bir iş değildir çünkü mükemmel bir seçim yoktur.

Doğru seçim uzlaşmayı gerektirir. İdealden daha büyük sapmaların nerede yapılabileceğini bilmek için gerekliliklerin ve bunların öneminin farkında olmak son derece önemlidir. Ayrıca, farklı itme sistemleri türlerine ve bunların özelliklerine aşina olunmalıdır.

Drone'lar için kullanılan çeşitli itki sistemleri türleri, özellikleri ve doğru sistemin nasıl seçileceği bu belgede daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Amaç, mevcut seçeneklerin ve bunların nasıl ele alınacağını net bir resmini oluşturmaktır.

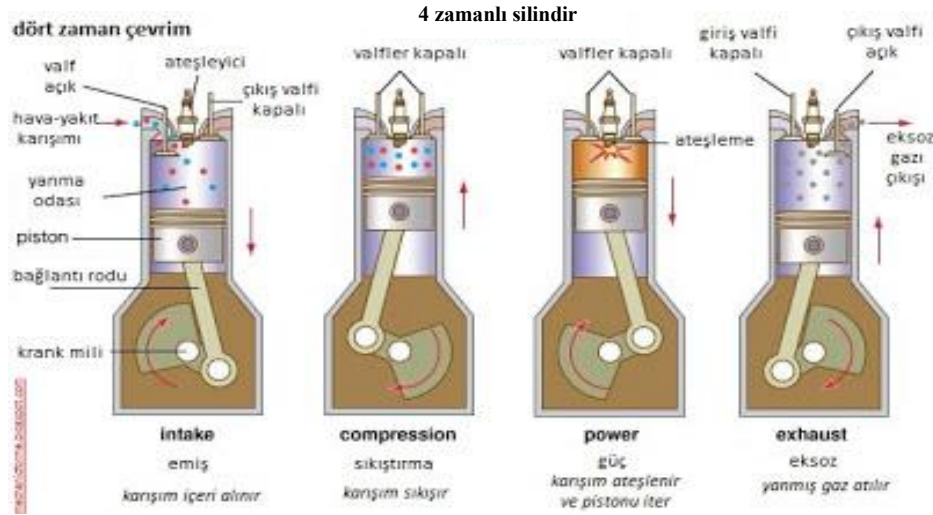
3.4.1 Havacılıkta İtici Türleri

Havacılıkta pistonlu, roketli, elektrikli, Wankel ve jet motorları kullanılmaktadır.

✂ Pistonlu Motorlar

Pistonlu (pistonlu) motorlar en eski motor türlerinden biridir ve ortaya çıktıklarında dünyada devrim yaratmışlardır. Enerji minimum kayıpla kullanılmış, çevrenin korunması konusu gibi günümüzdeki pistonlu motorun değerini düşüren konular sorgulanmamıştır.

Pistonlu motorlar, içinde pervaneyi hareket ettiren bir biyel kolu ile krank miline bağlanan bir piston bulunan bir silindirden oluşur. Silindirin içinde, pistonun üst tarafında hem emme hem de egzoz valfleri bulunur. Emme valfleri yakıt ve hava beslemesine ve egzoz valfi egzoz sistemine bağlanır. Silindirin içindeki bu valfler arasında, hava ve yakıt karışımını ateşleme görevindeki buji bulunur.

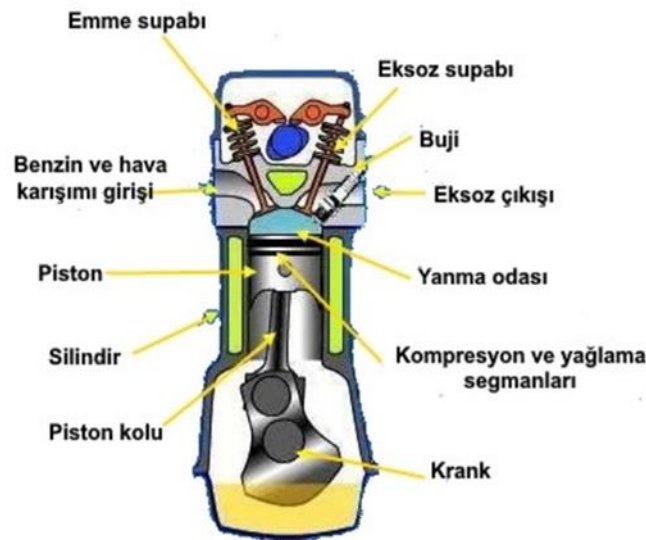


Şekil 18: Dört zamanlı Silindir Motor

İki zamanlı ve dört zamanlı pistonlu motorlar vardır. Dört zamanlı motorlarda, ilk vuruşta hava ve yakıt karışımı emilir. İkinci vuruşta piston yukarı doğru hareket ederek bu karışımı sıkıştırır. Bu sıkıştırmanın bir sonucu olarak, bu karışımı bir sonraki döngüye hazırlayan bir sıcaklık artışı da meydana gelir. Üçüncü vuruş, bujiden bir kıvılcım atmaya başlar, hava ve yakıt karışımını ateşler ve pistonu aşağı doğru iter. Bu, pistonlu motorun çalışma strokudur, yani kullanılabilecek enerjiyi oluşturur. Dördüncü vuruş, pistonun yukarı doğru hareket ettirilmesini içerir, bu da egzoz gazlarının pistondan egzoz sistemine itilmesiyle sonuçlanır.

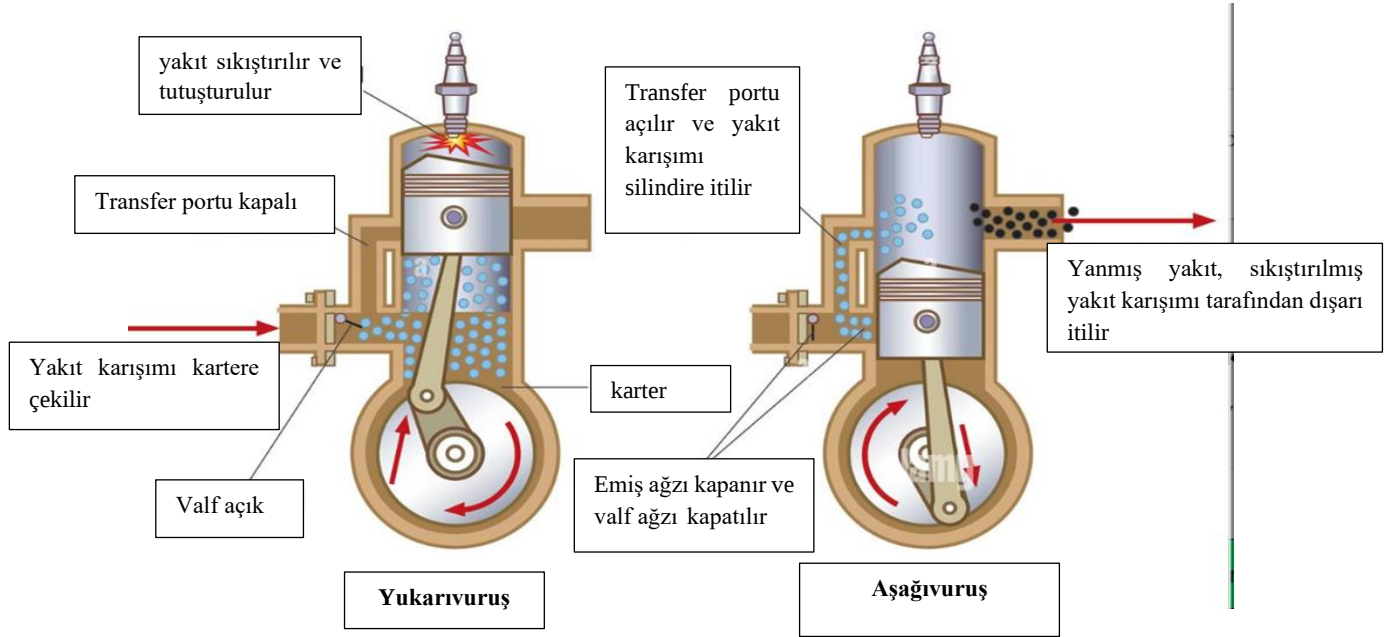
İki zamanlı motorlarda, birinci ve dördüncü vuruşlar, üçüncü ve ikinci vuruşlar gibi aynı anda gerçekleşir. Bu, motor verimliliğini kaybettirir.

Bu tip motor çevremizde hemen hemen her yerde kullanılmaktadır. Arabalarda, güç jeneratörlerinde, uçaklarda sıklıkla görebiliriz.



Şekil 19. pistonlu bir motor silindirinin enine kesiti

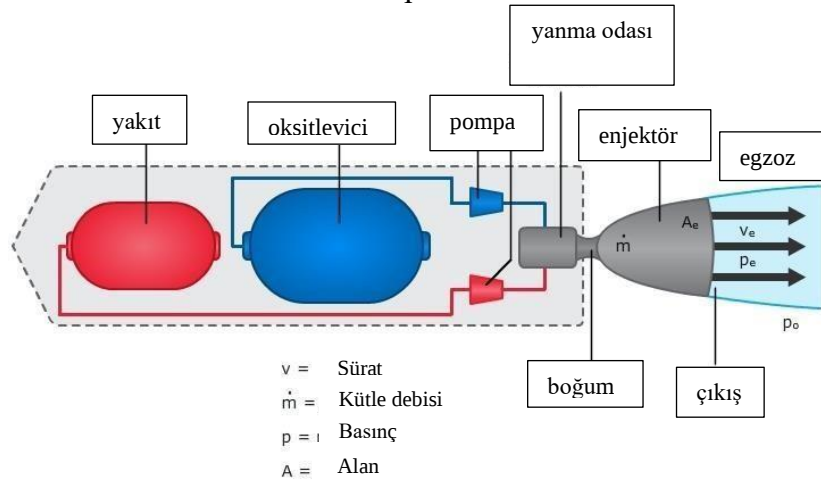
Ayrıca havacılıkta; uçaklarda, havaalanı ekipmanlarında (çekme traktörler, itfaiye araçları, yer jeneratörleri vb.) ve kullanılan diğer cihaz ve ekipmanlarda sıklıkla rastlanırlar.



Şekil 20: İki Zamanlı Silindir Motor

✂ Roket Motorları

İki temel roket motoru türü vardır. Bunlar sıvı yakıtlı roket motorları ve katı yakıtlı roket motorlarıdır. Sıvı roket motorlarında yakıt, yanmadan önce oksitleyici bir madde ile karıştırılır. Yakıt, motorun üzerinde bulunan tanklarda depolanır.



İTME
KUVVETİ

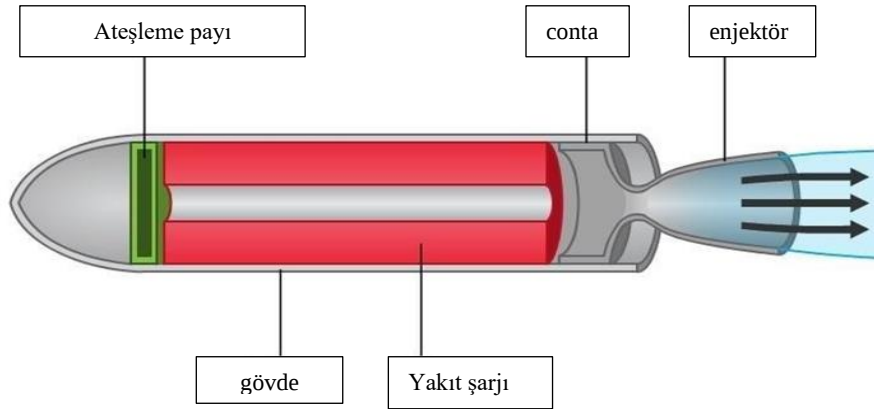
$$= F = \dot{m} v_e + (p_e - p_o) A_e$$

Şekil 21. Kesit Roket Motoru

Bu tanklar bir boru hattı ile yanma odasına bağlanır. Yanma odası, yakıtın oksitleyici madde ile mümkün olduğunca verimli bir şekilde karışması için tasarlanmıştır.

Oksitleyici ajan roket motorlarında bulunmalıdır çünkü çok büyük miktarda yakıt çok kısa sürede yanar ve dış ortamdan gelen hava bu reaksiyonu sürdürmek için yeterli değildir. Yakıt ve oksitleyici madde, bir türbin tarafından itilen iki pompa vasıtasıyla yanma odasına enjekte edilir. Bu türbin, çalışması için egzozdan atılan yanmış kütlenin bir kısmından enerji alır.

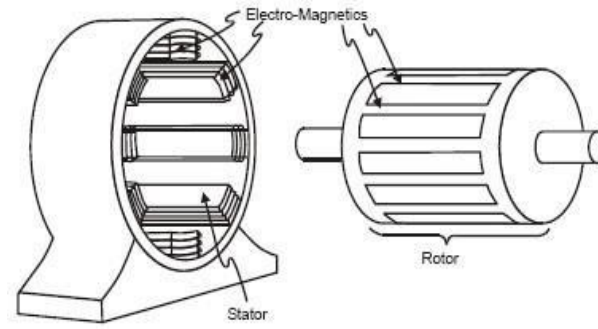
Hacim açıklıkları, nispeten kısa bir süre içinde büyük miktarlarda itme kuvveti oluşturabilir. Dezavantajları ise kısa çalışma süreleri, üretim ve kullanım fiyatlarının çok yüksek olması, ve bir kullanımdan sonra genellikle kullanılamaz hale gelmeleridir.



Şekil 22: Roket motorun elementleri

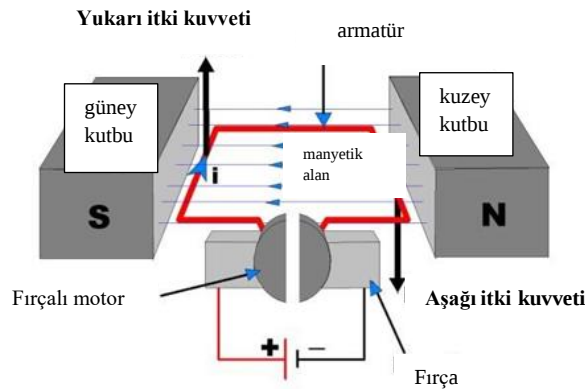
Katı roket motorlarında, motor yapılmadan önce yakıt ve oksitleyici madde karıştırılır. Bu motorlar daha basittir ve çalışmaları için yalnızca motor ateşleme sistemi gereklidir. Bu motorlar, sıvı yakıtlı motorlara göre daha kısa çalışma süresine sahiptir. Çalıştırdıktan sonra durdurulmaları olanaksızdır, önceki model de ise yakıt akışı kesilebilir. Roket motorları öncelikle roketleri fırlatmak ve uzayda manevra yapmak için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, bu motorlar askeri sanayide füze ve füze silahlarının üretimi için de kullanılır. Havacılıkta, bu motorlar çok kısa pistlerden kalkış yapmak için ek bir itme kaynağı olarak kullanılmaktadır.

✂ Elektrikli Motorlar



Şekil 23. Stator ve rotor

Elektrik bu iki bileşenden birinden geçer, diğeri ise kalıcı bir mıknatıstır. Elektrik bir iletken den geçtiğinde manyetik alan oluşur. Bu hareket elektrik motorunun içinde dönmesine veya çalışmasına neden olan manyetik alanlardır. Günümüzde kullanılan iki temel elektrikli motor türü vardır. Doğru akım kullanan motorlar ve alternatif akım kullanan motorlar.



Şekil 24. DC Motor Modeli

Doğru akım motorları, piller veya alternatif akımdan doğru akıma dönüştürücüler gibi kaynaklardan güç alır. Bu motorların rotoru armatür, statoru daimi mıknatıstır. Fırçalar ve komütatörlerle yapılırlar. Bu iki bileşen zamanla yıpranır ve belirli bir süre içinde değiştirilmesi gerekir ki bu ucuz bir işlem değildir. Ayrıca bu motor türü, elektriği mekanik enerjiye dönüştürmede alternatif akımla çalışan elektrik motorlarına göre daha az verimlidir.

Bu motorların hızı, dişlilerden geçen akımın akışını değiştirerek kontrol edilir. Motoru doğru akımla çalıştırmak için herhangi bir mekanizma gerekmez. Tüm doğru akım motorları tek fazlıdır.

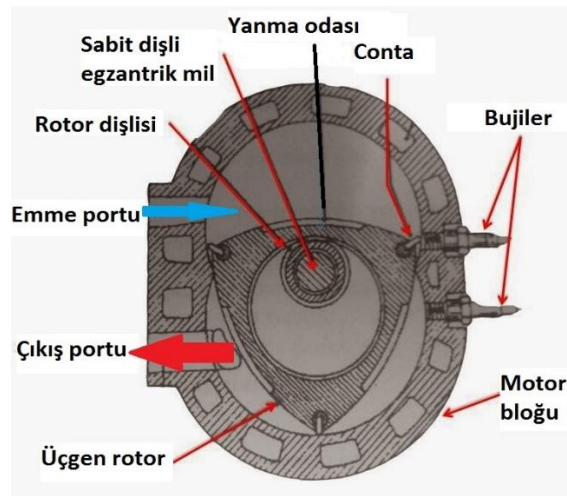
Birçok kişi için, çevre kirliliğine sebep olma durumu içten yanmalı motorlara göre önemli ölçüde az olduğundan elektrikli motorlar geleceği temsil etmektedir.

Bu motorların tek sorunu bataryalardır. Ancak elektrik depolama teknolojisi ilerlemekte ve her geçen gün daha verimli piller üretilmektedir. Dolayısıyla bu motorların havacılıkta olduğu gibi hayatın birçok alanında da hayatımıza girmesine kesin gözüyle bakılıyor.

Bu tip motorlar havacılıkta, motorun ve kontrol yüzeylerinin çalıştırılmasında, binaların içinde kullanılan araçların hareket ettirilmesinde veya belirli uçaklarda birincil motor olarak pek çok alanda kullanılır.

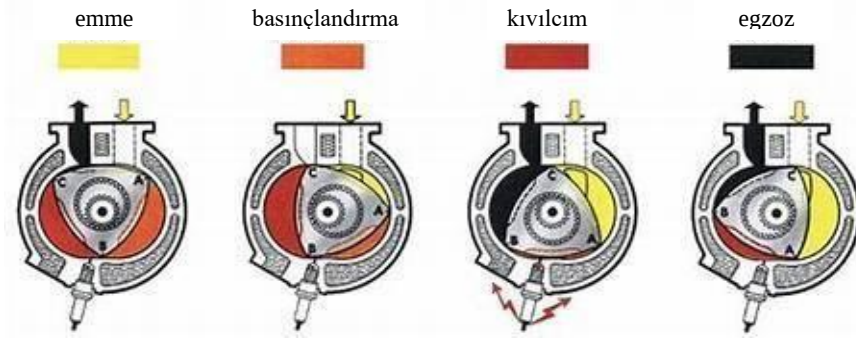
✂ Wankel Motorları

Bu tip motorlar; ön ve arka bölme, rotor bölmesi, rotor ve yalıtım lastikleri, krank milleri, bujiler, yakıt ve hava enjektörleri ve egzoz havalandırması gibi temel bileşenlerden oluşur. Bu motor, pistonlu motorla aynı prensiple çalışır, ancak stroklar farklı şekilde gerçekleştirilir. Bu motorun tek hareketli parçası rotor ve krank milidir.



Şekil 25: Wankel Motorları

Bu nedenle, çalışmalarını sağlamak için birçok bileşenin senkronize edilmesi gereken yerlerde pistonlu motorlara göre çok daha yüksek motor hızlarına ulaşmak mümkündür. Aynı nedenle, çalışması sırasında titreşimleri önemli ölçüde azaltmıştır. Bu motorların dezavantajları, genellikle bozulan, motorun zor çalıştırılmasına, eksik sıkıştırma ve yanmaya neden olan güvenilir yalıtım lastikleridir. Bu lastiklerin iyi bir şekilde sızdırmazlığını sağlamak için motora sürekli olarak yağ sağlamak gerekir, bu da çevre kirliliğine ve yüksek yağ tüketimine yol açar. Ayrıca, yeterli yağ olmaması durumunda motor "duracaktır".



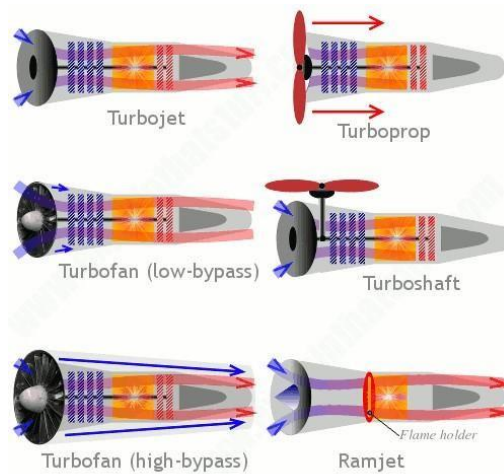
Şekil 26. Wankel Motorlarının çalışma döngüsü

Bu motorlar, ortaya çıktıklarında havacılık dünyasında gerçek bir karmaşa yarattı. NASA, bu tür motorların araştırılmasıyla özellikle ilgilendi çünkü fantastik bir ağırlık ve güç oranına sahiptiler ve neredeyse hiç titreşim üretmiyorlardı. Ortaya çıktıkları zamanda, benzinli veya dizel motorlar göre çok daha verimliydi. Zamanla, bu tür motorların bazı durumlarda çeşitli sorunlar çıkarmaları nedeniyle üretimleri önemli ölçüde azaldı, ancak yine de insansız hava araçlarında büyük oranda kullanılıyolar.

✂ Jet Motorları

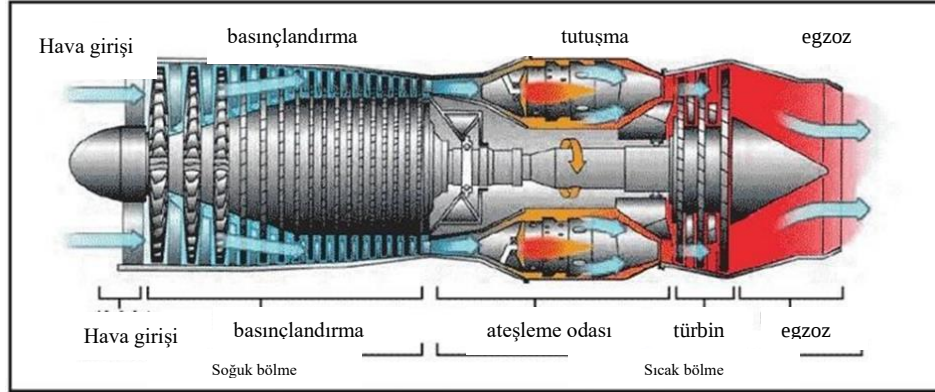
Ele alacağımız son motor türü de modern havacılığın en önemli motoru olan jet motorudur. Jet motorlarının birçok alt tipi vardır, örneğin;

- ✂ Turbojet
- ✂ Turboprop
- ✂ Turbofan
- ✂ Ramjet
- ✂ Benzer alt varyantlar



Şekil 27. Jet motorları Çalışma döngüsü

Bu motorlarda hava vantuzdan geçerek havayı sıkıştıran ve yüksek basınçlı kompresöre ileten alçak basınçlı kompresöre girer burada daha fazla sıkıştırılır ve böylece sıcaklığı yükseltilir. Bu hava, yakıtın eklendiği yanma odasına getirilir. Karışım ateşlenir. Ateşleme, gaz karışımının genleşmesine yol açar, yüksek basınçlı kompresörlere bağlı yüksek ve düşük basınçlı türbinleri çalıştırır. Daha sonra bu egzoz yoluyla motora gaz verir.



Şekil 28. Jet Motoru Kısımları

Bu tür motorlar, tüm büyük modern yolcu uçaklarında, hemen hemen tüm askeri uçaklarda, bazı silahlı insansız hava araçlarında ve hatta orta büyüklükteki sivil insansız hava araçlarında kullanılır. (Bakınız Şekil 59: Jet motoru yedek parçaları)

3.4.2 Drone İtici Gücü Türleri

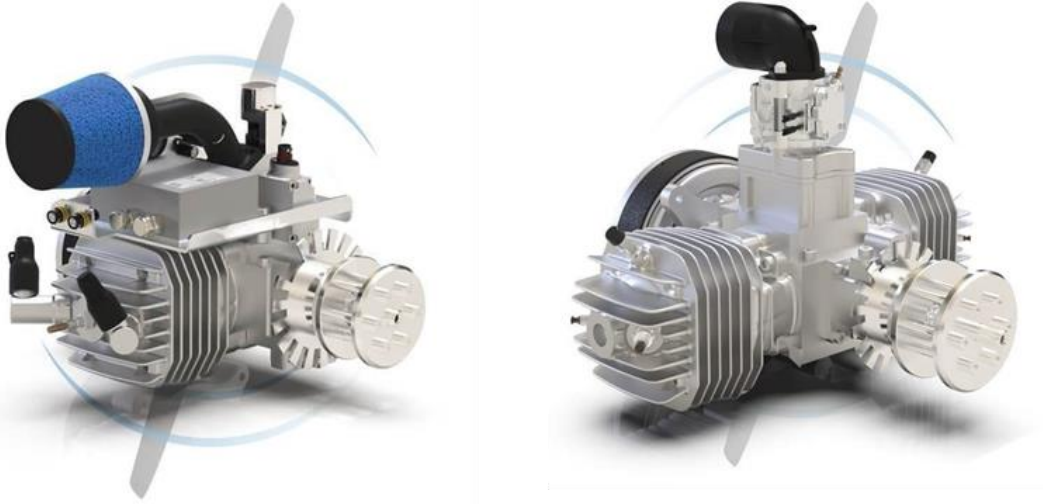
Havacılıkta güvenliğin yanı sıra ekonomi de dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biridir. Çoğu zaman uçağın ağırlığı azaltılarak uçuşlar daha ekonomik hale getirilir, bu da uçağın zaten aerodinamik olarak iyi tasarlanmış olduğunu gösterir.

Ağırlık sorunu özellikle insansız hava araçlarında önemli bir meseledir. Olabildiğince hafif olmalıdırlar ve mümkün olduğunca çok kaldırma kapasitesine ve gücüne sahip olmalıdırlar.

Bir drone için itici sistemi seçerken hedeflenen menzile dikkat edilmelidir. Elektrikli motorları geniş menziller için kullanmak yüksek kapasiteli, dronlara uyumlu kütle ve hacme sahip bataryalar henüz mevcut olmadığı için şimdilik mümkün değildir. Bu nedenle, Wankel motoru gibi diğer motor tipleri tercih edilir.

✂ Pistonlu Motorlar

Pistonlu motorlar daha büyük dronlar için kullanılır. Bunlar bir veya iki silindirli motorlardır. Ağırlıkları bir ila birkaç kilogram arasında değişir ve güçleri 25kW kadardır.



Şekil 29: Temel Küçük Motor

✂ Roket Motorları

Fiyatı ve çalışma şekli nedeniyle insansız hava araçlarında roket motorları kullanılmamıştır.

✂ Elektrikli Motorlar

İnsansız bir hava aracı düşünüldüğünde, çoğunlukla elektronik olarak çalışan bir insansız hava aracı akla gelir. Birkaç dakika ila yarım saatin biraz üzerinde otonom uçuş yapabilme özelliğine sahiptirler. Çevreyi kirletmezler, sessiz ve hafiftirler ve dronların %90'ında birincil tercihtirler.

Ağırlıkları nedeniyle yeni güvenlik sistemlerine ihtiyaç duyulsa da insanların bulunduğu yerlerde kullanılabilirler. Bunlar çoğunlukla DC motorlar ve fırçasız DC motorlardır, ancak AC motorlar da görülebilir.



Şekil 30: Elektrikli motor

✂ Wankel Motorları

Wankel motorları, düşük ağırlıkları ve yüksek güçleri nedeniyle büyük dronlarda kullanım için çok uygundur. Üstelik bu motorların daha önce tercih edilmemesine neden olan sorunlar da önemli ölçüde çözülmüştür. Ağırlıkları 5-10 kilogram arasında değişen bu motorların güçleri yaklaşık 22 kilovattır.



Şekil 30: Wankel temel motoru.

✂ Jet Motorları

Jet motorları birçok askeri İHA'da kullanılmakla birlikte sivil insansız hava araçlarında nadiren kullanılır. Ancak kullanıldıkları bazı durumlar da vardır. Bu tür dronlar her konuda gerçek ağır sikletlerdir. Kütleleri ve güçleri rakiplerine önemli ölçüde fark atar. Tüm bu güç, yüksek hız ve yüksek irtifada uçuşu sağlar. 18 kilograama kadar yük kaldırabilirler ve motorları 150kW'a kadar güç çıkışına sahiptir.

İtki sistemi tipini doğru bir şekilde seçmek için, dronun karşılaması gereken gereksinimleri kesin olarak belirlemek gerekir.

Mükemmel bir itki sistemi olmadığı için uzlaşma kaçınılmazdır, bu nedenle gereksinimleri tanımlamanın yanı sıra önem sırasına göre düzenlemek de çok önemlidir. Bundan sonra dronun bulunabileceği fiyat aralığını belirlemek ve çeşitli motor türlerinin en iyi örneklerini bulmak gerekir. Bir sonraki adım, itki sisteminin performansını ve özelliklerini gereksinimler listesiyle karşılaştırmaktır. En önemli gereksinimleri karşılayan itki sistemi, drone için en iyi seçimdir.

Cevaplanması gereken sorular:

- ✂ Sevk sisteminin izin verilen maksimum kütlesi nedir?
- ✂ İtki sisteminin minimum güç-ağırlık oranı nedir?
- ✂ İtki sistemi olmadan dronun kütlesi nedir?
- ✂ Dronun bir bütün olarak ne kadar yükü olmalıdır?
- ✂ Drone hangi çevresel şartları karşılamalıdır?
- ✂ Drone hangi gürültü şartlarını karşılamalıdır?
- ✂ Maksimum hızı ne olmalı ve ne kadar yönlendirilebilir olmalıdır?



Şekil 32: Drone itki sistemi

Bir itki sistemi seçmek, özellikle bize sunulan seçeneklerin sayısı nedeniyle karmaşık bir görev gibi görünebilir, ancak basit adımları takip ederek, kısa sürede hangi itki sisteminin seçileceğini doğru bir şekilde belirlemek mümkündür. Farklı motor türleri hakkında mümkün olduğunca fazla bilgiye sahip olunması faydalıdır, bu nedenle listeye alınan itki sistemlerinin özelliklerini ve satın alınan üreticinin güvenilirliğini daha fazla araştırmak her zaman yararlıdır.

3.5 Havacılık Yakıtı Türleri - İtici Gazlar

3.5.1 Yakıtın Temel Özellikleri

Her drone, ne için kullanıldığına bağlı olarak, özel itki sistemi gerektirir. Daha büyük araçlar havada kalabilmek için daha fazla güce ihtiyaç duyar ve bu nedenle daha güçlü piller kullanılır.

- ✂ Lityum Polimer pil;
- ✂ Lityum Polimer piller (“LiPo” piller), günümüzde birçok tüketici elektroniği cihazında kullanılan bir pil türüdür.
- ✂ LiPo piller ile bunların Nikel-Kadmiyum ve Nikel-Metal Hidrit muadilleri arasındaki farklar:

	LiPo Piller	NiMH Piller
Avantajları:	- Çok daha hafiftir ve hemen hemen her boyutta veya şekilde üretilebilir; - Çok daha fazla güce sahip olmalarına imkân veren yüksek kapasiteleri vardır; - Verimlilik anlamına gelen çok daha yüksek deşarj oranları vardır.	- LiPo'dan daha uzun ömürlüdür, genellikle 1.000 döngü aralığındadır; - Daha az hassastır ve genellikle yangın riski oluşturmaz; - Kullanım için daha basit şarj cihazları ve rutin işlemler gerekir.
Dezavantajlar:	- Çok daha kısa kullanım ömrüne sahiptir; LiPo ortalama yalnızca 150–250 döngü; - Pilin delinmesi durumunda hassas kimyasal maddde yangına neden olabilir; - Şarj etme, boşaltma ve depolama için özel bakım gerekir.	- Çok daha ağırdır ve boyut olarak sınırlıdır; - Daha düşük ortalama kapasiteye sahiptir ve genel olarak daha az verimlidir; - Daha düşük deşarj oranları nedeniyle verimlilikten yoksundur.

LiPo pil, ağırlığı, çeşitli şekil ve boyutlarda üretilebilmesi, yüksek kapasiteleri, enerjisi ve şarj edilebilir olması nedeniyle dronlar için kullanılmaktadır. Ancak, doğru kullanılmadığı takdirde alev alma özelliği nedeniyle tehlikeli olabilmektedir.



Şekil 33. Batarya

3.5.2 Hidrojen Yakıt Hücreleri

Bir hidrojen yakıt hücresi, hidrojen yakıtı tarafından depolanan kimyasal enerjiyi elektriğe dönüştürür. Hidrojen tek başına bir enerji kaynağı değildir. Elektrik üretmek için yakıt hücresinde kullanılmaya hazır olana kadar uygun bir kontaynerde saklanmalıdır.

Hidrojen, yakıt hücresi içinde oksijen ile birleştirildiğinde ve yan ürün olan su devreden çıkarıldığında, yakıt hücresi elektrik üretebilir. Hidrojenin işlenmesi çok zordur - diğer elementlerden ayrılmalı, sıkıştırılmalı ve sabit bir ortamda saklanmalıdır, aksi takdirde patlar. Hidrojen yakıt hücrelerinin bir diğer özelliği de önemli miktarda ısı içermeleridir. Plastiğin pek çok dronun baskın bir bileşeni olduğu düşünüldüğünde, ısı üretimi drone donanımının bir kısmını eritebilir.

Hidrojen yakıt hücrelerinin faydaları:

- ⌘ Hidrojen temiz bir enerji kaynağıdır - renksiz, kokusuz ve toksik olmayan bir gazdır, tüm ürün sudur;
- ⌘ Hidrojen, dünyadaki en yaygın kaynaktır;
- ⌘ Hidrojen yakıt hücreleri, pillere göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve daha uzun uçuş süreleri sağlar;
- ⌘ Hidrojen yakıt hücreleri hızla yakıt ikmali yapar;
- ⌘ Hidrojen yakıtlı dronlar düşük sıcaklıklarda çalışır;
- ⌘ BVLOS uçuşları, hidrojen yakıtlı dronlarla daha kolaydır.

3.5.3 İtici Gaz Olarak Güneş Enerjisi

Elektrikli insansız hava araçlarının (Drone, UAV, UAS, RPAS) ömrünün uzatılması birçok drone için önemli bir husustur. Bu sorun, batarya eklenerek çözülebilse de, fazladan ağırlık bindirmesi ve ekstra alan gereksinimi nedeniyle tercih edilmemektedir. Güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmeler, fotovoltaik (PV) teknolojisini İHA'lara, dronlara ve diğer insansız hava araçlarına güç sağlamak için olası bir alternatif haline getirdi. Dronlar genellikle güneş panelleri yerleştirmek için uygun alana sahip değildir. Dronların kaldırma kuvveti oluşturma kapasitesi sabit kanatlı uçaklara göre daha azdır, bu da dronun boyutunu büyütmenin önemli bir tasarım zorluğu oluşturmaya anlamına gelir.



Şekil 34. Uçak üstünde güneş panelleri

3.5.4 Yakıt Hücresi Çeşitleri ve Seçim Yöntemi

Şimdilik, en yeterli itki sistemleri aşağıdakiler olarak kabul edilir:

Pil

Pil kapasitesi E_{batt} ve ağırlık m_{batt} arasındaki ilişki eq. (1) özgül enerji ε_S kullanılarak

$$E_{batt} = \varepsilon_S \cdot m_{batt} \cdot \eta_{DOD}$$

Spesifik enerjinin pil kimyası ve η_{DOD} ile ilgili olduğu durumlarda, pilin deşarj derinliği döngü ömrünü etkiler.

3.5.5 Yakıt Pili Hibrit Sistemi

Hibrit sistem, Denklem ile hesaplanan hibridizasyon derecesi β_{batt} ile karakterize edilir.

(2). Bu, yakıt hücresi ile pil arasındaki bağıl ortalama güç dağılımıdır. 0 ile 1 arasında değişir, burada 0 yalnızca yakıt hücresi gücüdür ve 1 yalnızca pil gücüdür.

$$\beta_{Batt} = \frac{P_{batt}}{P_{FC} + P_{batt}}$$

Bir yakıt hücreli hibrit sistemin (EFCHS) toplam enerjisi, FC sisteminden ve hibrit aküden sağlanan etkin enerjinin toplamıdır:

$$EFCHS = E_{FC} + E_{h.batt}$$

Ve yakıt hücresi hibrit sistemi mFCCHS'nin kütlesi, tesis dengeleme kontrol elektroniği mFC'ye sahip yakıt hücresi yığınının kütlesini, hibrit akü $m_{h.batt}$ 'ı ve regülatör ve hortum m_{H2} ile hidrojen silindiri içerir. Hidrojenin kütlesi, basınçlı kap kütlesinin yalnızca yaklaşık %5'idir ve bu nedenle göz ardı edilebilir:

$$m_{FCCHS} = m_{FC} + m_{H2} + m_{h.batt}$$

Güç kaynaklarının gerçekçi bir karşılaştırmasını elde etmek için, sistemle ilişkili tüm katkıları dahil etmek önemlidir. Bir yakıt hücresi sisteminin kütle ve güç spesifikasyonları, mevcut ticari şartlara bağlıdır.

3.5.6 Hidrojen Enerjisi

Bir yakıt hücresi sisteminden (EFC) elde edilen etkin elektrik enerjisi, yakıt hücresinin verimliliğine ve depolanan hidrojen miktarına bağlıdır. Basınç ve silindir hacminin bir fonksiyonu olarak:

$$E_{FC}(p, V_{cyl}) = \rho_{H2}(p) \cdot V_{cyl} \cdot h_{H2} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{H2}$$

burada hidrojenin yoğunluğu ρ_{H2} ve silindir hacmi V_{cyl} hidrojen kütlesini verir.

Alt Isıtma Değerinde (LHV) hidrojenin özgül entalpisi $h_{H_2} = 33.6 \text{ Wh} \cdot \text{g}^{-1}$ 'dir. Bunu hidrojen kütlesi ile çarparak sistemde depolanan teorik enerji elde edilir. Yakıt hücresi verimliliği η_{FC} , hücre voltajıyla ilişkilidir ve %50 olarak kabul edilebilir. Son faktör, kimyasal reaksiyonda hidrojenin tamamının kullanılmadığı ve tipik değerinin 0,95 civarında olduğu gerçeğini temsil eden yakıt kullanım faktörü η_{H_2} 'dir.

Silindir hacmi ve ilgili kütle, piyasada bulunan seçeneklerle verilir. 300 bar olarak derecelendirilmiş bir dizi Sınıf IV silindir, polimer astarlı karbon fiber sargılı kaplar Tablo 1'de listelenmiştir. Spesifikasyonlar farklı üreticiler arasında değişiklik gösterebilir ve daha hafif silindirler de mevcuttur. Ancak bunlar daha düşük güvenlik faktörlerine ve sınırlı sayıda doldurma döngüsüne sahip olabilirler.

Tablo 1 CTS'den bir dizi hafif Sınıf IV silindirin özellikleri. EN 12245'e (CEN, 2002) göre 300 bar hidrojen depolamak üzere onaylanmıştır. Enerji tahminleri için %50'lik bir yakıt pili verimliliği varsayılmıştır.

Hacim [L]	Silindir Kütlesi [kg]	H ₂ Kütle [g]	Depolama Etkisi [%]	Enerji [Wh]	Özel Enerji [$\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$]
2.0	1.2	41.7	3.5	700	584
3.0	1.4	62.5	4.5	1050	750
6.0	2.5	125.0	5.0	2101	840
6.8	2.7	141.7	5.2	2381	882
7.2	2.8	150.0	5.4	2521	900
9.0	3.8	187.6	4.9	3151	829

3.5.7 Hibrid Batarya

Hibrit akünün enerji kapasitesi, birincil güç kaynağı olan yakıt hücresi sistemi enerjisinin bir fonksiyonu olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{h. batt}(EFC) = \frac{\beta_{batt} \cdot EFC + (temc \cdot PFCHS)}{1 - \beta_{batt}}$$

acil durum yedek gücü, ortalama güç tüketimi PFCHS'den ve bir acil iniş süresi için gereken süreden hesaplanır. Denklemi değiştirerek (1), hibrit pil m_h. batt kütlesi şuna göre hesaplanabilir:

$$m_{h. batt} = \frac{E_h}{\varepsilon S \cdot \eta DOD}$$

Gerekli enerjinin mevcut olduğundan emin olmak için izin verilen deşarj derinliği dikkate alınmalıdır. Ayrıca hesaplanan enerji ve kütle minimum değerlerdir. Uygulamada, gerekli enerji ve gücü (deşarj oranı) sağlayabilen, piyasada bulunan bir seçenek tercih edilmelidir.

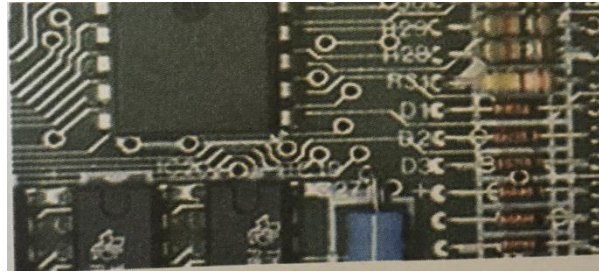
Denk. (8) çok kullanılan mAh pil tanımına dönüştürmek için kullanılabilir. Unom, nominal akü voltajıdır:

$$CmAh = \frac{Eh}{\eta DOD \cdot U_{nom}} \cdot 103$$

3.6 Bilgisayar ve Elektronik Sistemler

İHA projelerinde bilgisayarların kullanılması, hepsi tek kartta (tek kartlı bilgisayar, SBC) bir çip üzerinde (System-on-Chip, SOC) analog, mikro-dijital ve entegre sistemlerle başlayan bilgisayar teknolojisindeki genel ilerlemenin peşi sıra olmuştur.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme çok dikkat çekicidir, ancak gerçek şu ki bilgisayar teknolojisi, insansız hava araçlarının, özellikle de otonom olanların gelişme hızı için hala sınırlayıcı bir faktördür.



Şekil 35: Bilgisayar baskılı devre kartının bir parçası

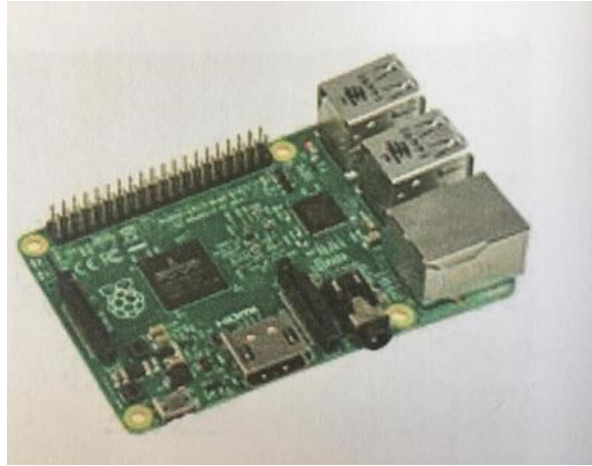
Küçük İHA'lar için sistem donanımı, pratik olarak uçuş komutları (Tek kartlı bilgisayar, SBC), Uçuş Kontrol Kartı (FCB) ve otopilottan oluşur.

Elektronik donanım düzeneği, içinden elektrik akımının aktığı iletkenlerle veya baskılı devre kartlarında birbirine bağlanan ayrı elektronik bileşenlerden, dirençlerden, transistörlerden, kapasitörlerden, indüktörlerden ve diyotlardan oluşur (Şekil 35). Bir devrenin elektriksel değil de elektronik olarak adlandırılabilmesi için, içinde genellikle en az bir aktif bileşen bulunmalıdır. Bileşenlerin ve iletkenlerin kombinasyonu, sinyal yükseltme, bilgisayar işlemleri ve bir yerden diğerine veri aktarımı gibi çeşitli basit ve karmaşık işlemleri gerçekleştirmenize olanak tanır.

Devreler, ayrı ayrı iletkenlerle birbirine bağlanan ayrı bileşenlerden oluşturulabilir, ancak gerekli entegre devreyi elde etmek için baskılı devre kartlarında birbirine bağlamak ve bileşenleri tek bir bütün halinde lehimlemek çok daha yaygındır. Böyle bir devrede, bileşenler ve ara bağlantılar, genellikle yarı iletkenler olmak üzere aynı alt tabaka üzerinde oluşturulur. Bir çip sistemi (SOC), bir bilgisayarın veya diğer elektronik sistemin tüm bileşenlerinin entegre edildiği bir entegre devredir. Bu bileşenler tipik olarak (ancak her zaman değil) merkezi işlem birimini, belleği, giriş/çıkış bağlantı noktalarını ve ikincil belleği içerir. Her şey küçük boyutlu (mikroçip) tek bir çip üzerine entegre edilmiştir.

Çipler kullanıma bağlı olarak dijital, analog ve karışık sinyallerin işlevlerini ve genellikle bunları işleyen radyo frekansı içerebilirler. SOC'ler küçük bir temelde entegre olduklarından, çok çipli bir tasarımda çok daha az enerji tüketerek ve daha az yer kaplayarak işlevlerini korurlar. Bu nedenle SOC'ler, bilgisayarlarda ve ayrıca mobil cihazlarda (akıllı telefonlar gibi) çok sık kullanılır.

Daha güçlü entegre bilgisayar sistemleri, farklı modüllerden oluşan uygun bir proje için gerekli olan yarı iletken dizilerin yüzey alanının yanı sıra performansı artırır ve güç tüketimini azaltır. Bileşen değiştirilebilirlik düzeyi azaltılır.



Şekil 36: Bir çip üzerindeki bu sistem (SOC), bir mikroişlemci çipinin özelliği olan herhangi bir veri depolamayı içermez.

Tanım olarak, SOC'ler, farklı bileşen modülleri aracılığıyla tamamen veya kısmen entegre edilmiş yapılardır. Bu nedenlerden dolayı, genel eğilim, bilgisayar donanımı endüstrisinde daha fazla bileşen entegrasyonu yönündedir. Bu ders, SOC'lerin acımasızca rekabet eden cep telefonu ve bilgisayar pazarlarındaki etkisi sayesinde öğrenilmiştir. Bir çip üzerindeki sistemler, bilgisayar geliştirme ve donanım geliştirmedeki önemli ilerlemelerin bir parçası olarak görülebilir.

3.6.1 Sensörler

Serbestlik derecesi sayısına göre İHA hareketinin parametreleri hakkındaki bilgiler, uçaktaki sensörlerin sayısına ve kalitesine bağlıdır: 6 serbestlik derecesi için üç temel eksen etrafında ve boyunca jiroskoplar ve ivmeölçerler gereklidir. (Şekil 17 Tipik eylemsizlik platformu), 9 serbestlik derecesi bir eylemsizlik platformu artı bir pusula gerektirir, 10 serbestlik derecesi ek olarak barometrik yükseklik ölçümü gerektirir ve 11 serbestlik derecesi ek olarak bir Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) için alıcı gerektirir.

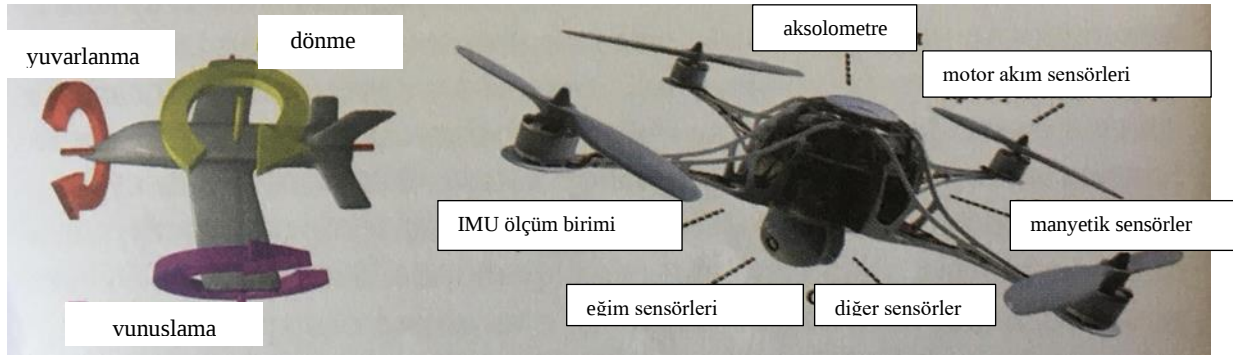


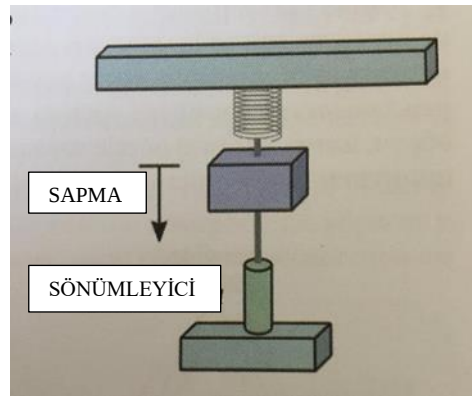
Figure 37. Uçağın üç eksenli hareket ve dönüş rotalarının görünümü

Pozisyon ve hareket sensörleri, uçağın durumu hakkında bilgi sağlar. Proprioceptif sensörler, ölçüm mesafeleri, ışık yoğunlukları, ses genlikleri gibi harici bilgiler hakkında veri sağlamayı amaçlarken, exteroceptif sensörler iç ve dış durumları birbirine bağlar.

Çalışmayan kodlayıcılar, hedefleri ve engelleri otomatik olarak algılayabilir, bu nedenle güvenlik, engellerle çarpışmalardan kaçınma, arazi konfigürasyonunu izleme ve savaşta ölümcül araçlara rehberlik etmek için kullanılırlar. Radar ve optoelektronik vericiler, özellikle tüm bu bilgiler birleştirildiğinde önemlidir.

3.6.2 İvmeölçer

Bir "açık devre" ivmeölçer, bir yaya ve bir sönümleyiciye bağlı belirli bir kütleye sahip bir gövdeden oluşur. Bu üç bileşen, ivmenin neden olduğu aynı yer değiştirme yönündedir. Yay sertliğinin özelliklerine uygun olarak gövde sınırlı hareket kabiliyetine sahiptir. Eylemsizlik kuvvetinden dolayı cismin ivmesi, yayın karşıtlığı ile geride kalmaya zorlanır. Hareket edebilen gövdenin ve tüm hava aracı düzeneğinin ivme yoğunluğu, yayın sapma değerinden, yani hareketli gövdenin hareket uzunluğundan elde edilir. İvme ölçüsünün sabit özelliği, vücut kütlelerinin boyutunu ve yayın sertliğini ayarlayarak elde edilir. Bu düzeneğin salınımlarını önlemek için sistem yerleşik bir sönümleyici ile sönümlenir.



Şekil 38. Mekanik bir ivmeölçerin temel çalışma prensibinin şematik gösterimi

Hava aracı Dünya yüzeyinde dururken, ivmeölçer yerçekimi sabiti $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ 'ye eşit ivmeyi ölçecektir.

Yüksek hassasiyetli ivmeölçerler, İHA'da navigasyon için kullanılan eylemsizlik navigasyon sistemlerinin önemli bileşenleridir. İHA uçuş stabilitesini sağlamanın yanı sıra konum ve yönü belirlemek için de kullanılırlar. Ayrıca İHA'nın çoklu hareket parametrelerini, yani uçak durum vektörünün karşılık gelen mevcut bileşenlerini de algırlar.

Modern ivmeölçerler, küçük mikro-elektro-mekanik sistemlerdir MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistemler). Bunlar drone kullanımı için en basit eylemsizlik cihazlarıdır. Santral tertibatlarının hareketli parçalarından kaynaklanan artan titreşim sorunlarını önemli ölçüde azaltırlar.

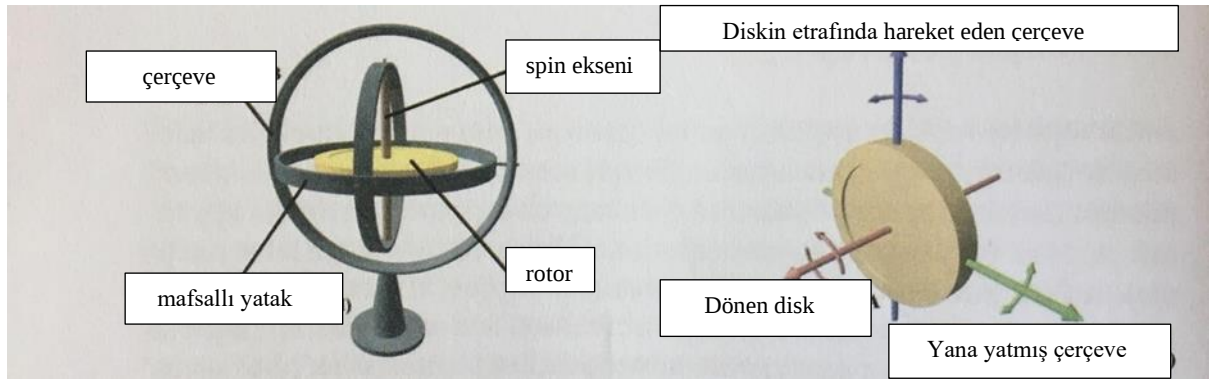
3.6.3 Jiroskop

İki temel jiroskop türü vardır.

- ✂ Mekanik
- ✂ Optik (lazer) jiroskop

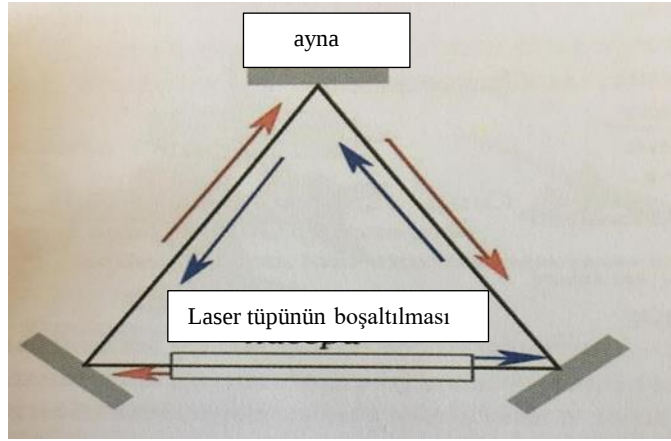
Kullanım:

- ✂ Açısal hız ölçer;
- ✂ Hareket yönünü korumak için kodlayıcı.



Şekil 39. sol: Üç serbest halkalı, kardan mekanizmalı mekanik bir jiroskopün çalışma prensibi; sağ: Jiroskop mekanizmasının dış zorlamaya tepki ilkesi

Dış zorlama nedeniyle jiroskop eksen pozisyonunda herhangi bir değişiklik olması ihtimali, diskin dönmesi nedeniyle büyük bir açısal muhalefet momenti oluşması ihtimalinden çok daha küçüktür. Gücün gimble aktarılmasıyla cihazın zorlanmasının etkileri en aza indirilir ve cihazın yerleştirildiği platformun herhangi bir zorlayıcı hareketinden bağımsız olarak konumu neredeyse sabit kalır. Eksen yönünün dönüşüne karşı olan o anın ölçülen seviyesi, uçağın bir önceki uçuş yönünden sapma seviyesi ile orantılı bir ilişki içindedir ve bu etki, jiroskopün asıl kullanım amacıdır. Bu karşılığın yoğunluğu, karşılık gelen sistemlere orantılı yoğunlukta bir iletim sinyaline dönüştürülür. Elektronik cihazlarda bulunan mikroçipli bir pakette MEMS jiroskopları, aktif halkalı bir lazer jiroskop, fiber optik jiroskoplar ve son derece hassas kuantum jiroskoplar gibi başka çalışma ilkelerine dayalı jiroskoplar da bulunur.



Şekil 40. Lazerle çalışan bir jiroskopun çalışma prensibi

İvmeölçerler ve jiroskoplar, İHA ataletsel navigasyon sisteminin çok önemli alt sistemleridir.

Eylemsiz Navigasyon Sistemi (INS), zaman içindeki görelî konumu hesaplamının bir fonksiyonu olarak açısal hız ve ivme verilerini kullanır. INS, başlangıç durumuna göre görelî bir konum sağladığından, entegrasyon süreci, bu süreçteki hataların birikmesi nedeniyle, başlangıç değerlerini, yani harici referans karşılaştırmasına göre gerçek konumunu hızla kaybeder. Düzeltme desteği ise, kendisine ilk referans verileri hakkında bilgi veren ve entegrasyon sırasında hatayı düzeltmesi için veriler sağlayan Küresel Navigasyon Uydu Sistemidir (GPS).

3.6.4 Sensör Entegrasyonu ve Sinyal Füzyonu

İHA sensör sinyalinin füzyonu ve elde edilen ölçüm sonuçları, özel bir algoritma ile birleştirilerek en iyi performansı sağlar ve hava aracı durum vektör verilerinin kaybedilme riskini azaltır. GPS ve INS teknikleri birleştirilerek, düzeltme verileri referans değerlere göre iyileştirilir.

GPS ile birlikte eylemsizlik ölçüm birimleri, uçuş yörüngesinin yönünü ve doğruluğunu korumak için çok önemlidir. Uçuş otonomu, dronlar için kilit özellik olduğundan, uluslararası uçuş kurallarına ve hava trafik kontrolüne uygunluk koşullarını sağlamak önemlidir.

Tutum ve Yön Referans Sistemi (AHRS), ivmeölçer ve jiroskopa ek olarak, temelde yüksek doğruluk derecesine sahip küçük pusulalar olan çok eksenli manyetometreler kullanır. AHRS yön değişikliklerini algılar, bununla ilgili verileri CPU'ya girer ve bu da nihayetinde İHA'nın yönünü, yönelimini ve uçuş hızını gösterir.

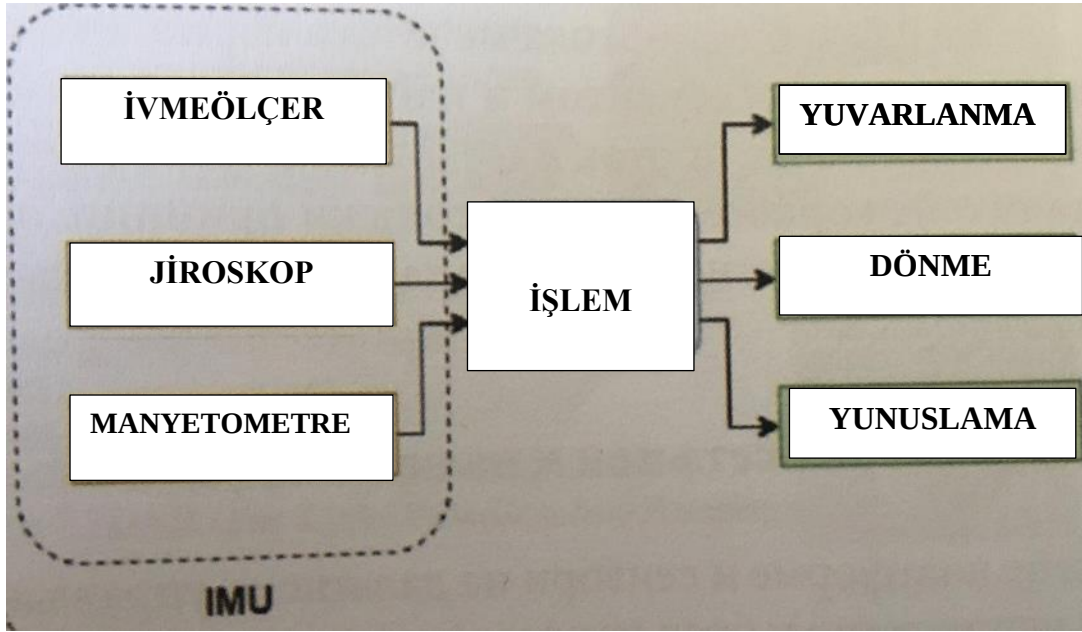


Figure 41. Tutum ve Yön Referans Sistemi(AHRS)

İvmeölçerler ve jiroskoplar, İHA'nın güvenli ve iyi bir uçuş sürdürme işlevinde uçuş komuta sistemindeki üç eksenin tamamı etrafındaki eğim girdi verilerini sağlar. Bu, gözetleme görevleri ve hassas kargoların transferi gibi uçuş stabilitesinin önemli olduğu değişiklikler için özellikle önemli bir durumdur.

Bu sensörler hareketteki küçük değişiklikleri (salınımları) algılar. Bu salınımların ölçülen özellikleri, yeterli sönümlenme sağlayarak hareketlerinin kalitesini arttırmak için hareketli nesnelerin tasarımlarında büyük önem taşır. Bu şekilde, uçuş sırasında uçağın dinamik kararlılığı iyileştirilir.

İnsansız hava araçlarında elektriğin tüketimi ve kullanımı önemlidir. Akım sensörleri, güç tüketimini izlemek ve optimize etmek, dahili pilleri güvenli bir şekilde şarj etmek ve motor ile diğer sistem bileşenlerini korumak için kullanılabilir (Şekil 17, sağ). Elektriğin özelliklerini ölçer, kayıpları ve kullanıcının yaralanması veya sistemin hasar görmesi riski olan elektrik çarpması olasılığını önlemek için yalıtımı kontrol eder.

Bunlar, hızlı tepkime süresine (düşük zaman sabiti) ve yüksek doğruluğa sahip sensörlerdir, batarya kullanımını optimize ederler ve hatta uçak performansını artırırlar.

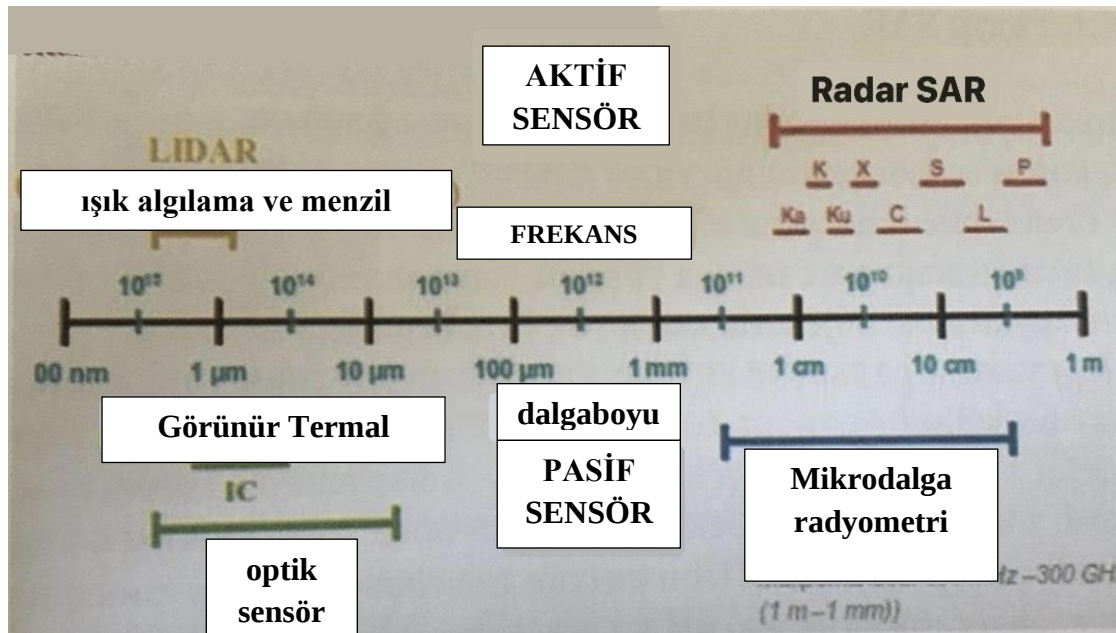
İHA'da elektronik pusulalar, eylemsiz navigasyon ve yönlendirme sistemlerine kritik yön bilgisi sağlar. Anizotropik manyetodirençli (AMR) ve permalitik sensörler, üstün doğruluk ve tepki süresi özelliklerine sahipken, alternatif teknolojilere göre önemli ölçüde daha az enerji tüketir ve İHA kullanımına uygundur. Üreticilerin kompakt bir pakette kaliteli veri kaydı sağlamasına olanak tanır.

Akış sensörleri, bazı İHA türlerine güç sağlamak için kullanılan küçük gaz motorlarındaki hava akışını etkili bir şekilde izlemek için kullanılabilir. Motorların, belirli bir çalışma modu için karışımdaki yakıt ve havanın doğru oranını belirlemesine yardımcı olarak, geliştirilmiş güç, verimlilik ve azaltılmış egzoz emisyonları sağlar.

Birçok gaz kütle akış sensörü, kütle akışını ölçmek için ısıtılmalı eleman ve en az bir sıcaklık sensörü içeren bir kalorimetrik başlık kullanır. MEMS sıcak hava akış sensörleri de sadece mikro ölçekte kalorimetrik prensibi kullanır, bu da onları öncelikli kütle azaltma koşullarındaki kullanımlar için son derece uygun hale getirir.

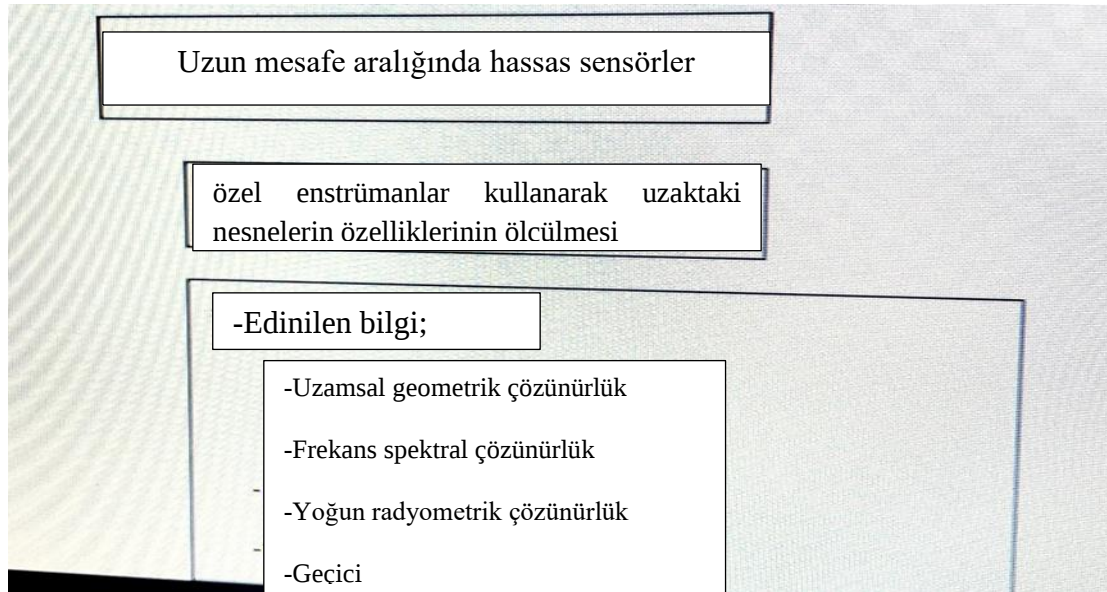
3.6.5 Büyük Mesafelerdeki Hassas Sensörler

Gerilimli platformlar ve uzaktan kumandalı sensörler, BT altyapısında sürekli ve hızlı ilerleyen teknolojilerdir. Mekansal, spektral ve zamansal yeterlilikler açısından sensör performansının menzili ve potansiyeli, uzaktan kullanımın geleneksel sınırlarının çok ötesine geçmiştir ve bu da önemli ölçüde geliştirilmiş gözlemlenebilirlik kapasitesiyle sonuçlanmıştır



Şekil 42. Uzaktan kumandalı sensörlerin sınıflandırılması

Uzaktan kumandalı sensörlerin yeni uydu kurulumları ile geliştirilmesi İHA'nın operasyonel kullanımı işlevinde çok yoğundur. Uzaktan algılama teknolojisini mümkün kılan küresel navigasyon altyapısını destekleyen sensörlerin uygulanmasına yönelik çözümler sürekli olarak araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Şekil 42, farklı dalga boylarına sahip aktif ve pasif uzaktan kumandalı sensör gruplarına genel bir bakışı şematik olarak göstermektedir ve Şekil 43, küresel olarak olası etkin performanslarını göstermektedir.



Şekil 43. Uzun mesafelerde sahneleri yakalamak için sensörler hakkında genel bilgiler

3.6.6 Radar SAR

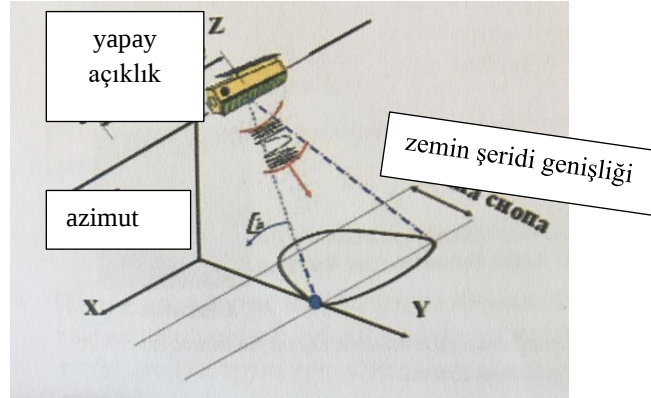
Yapay açıklığa sahip radar (Yapay Açıklık Radar SAR), standart bir aşamalı dizi anten olasılığına kıyasla yapay olarak artırılmış bir etki sağlar. İki boyutlu görüntüler oluşturmak için kullanılır ve üç boyutlu olanlar, binalar ve manzaralar gibi nesnelerin rekonstrüksiyonundan elde edilir. Radar, radyo dalgalarını bir anten aracılığıyla ortama yayar. Elektromanyetik dalgalar herhangi bir nesneye çarptığında yansır ve her yöne yayılır. Yansıyan dalgaların bir bölümü radara geri gelir ve radar yine bir anten aracılığı ile bu dalgaları algılar. Radar sinyallerinin çevredeki arazi yapılarından da yansıması sonucu, bu yapıların radar ekranında bir görüntüsü oluşur.

SAR'lar İHA'lara yerleştirilebilir ve zorlu görevleri gerçekleştirme kapasitelerini önemli ölçüde artırır. Gelişmiş yandan görünümlü hava radarları (SLAR) da geliştirilmiştir.

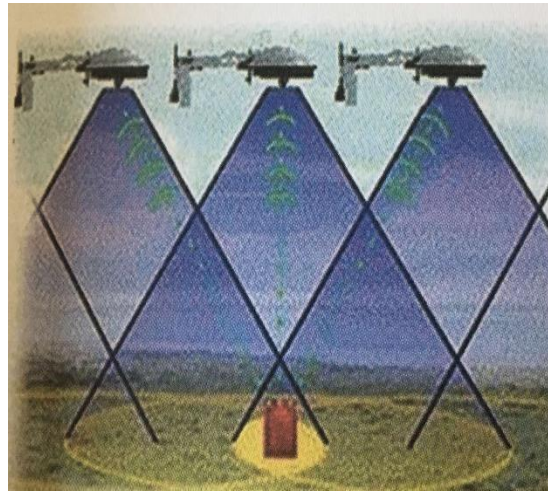
SAR cihazının, radar darbelerinin antene dönmesi için geçen sürede hedef üzerinde kat ettiği yol, yapay olarak, fiziksel antene göre artan bir açıklık etkisi yaratır. Bu, SAR'ın nispeten küçük fiziksel antenlerle yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturmasını sağlar. SAR'ın bu özelliği, uzak ve daha geniş bir gözlem aralığında tutarlı uzamsal çözünürlüğe izin verdiği için özellikle daha uzaktaki nesneleri yakalamak için kullanışlıdır.

Bir SAR görüntüsü oluşturmak için başarılı radyo dalgası darbeleri hedefe iletilir, aydınlatılır ve her darbenin yankısı alınarak kaydedilir. Darbeler iletilir ve yankıları, bir metreden birkaç milimetreye kadar dalga boylarında bir ışın oluşturan tek bir anten tarafından alınır. Uçaktaki SAR cihazı hızlandıkça, anten zamanın bir fonksiyonu olarak hedefe göre aynı şekilde hareket eder.

Başarılı bir şekilde kaydedilen radar ekolarının sinyal işlemesi, birden fazla değiştirilmiş anten konumundan gelen görüntülerin bir kombinasyonuna olanak verir. Bu prosedür, yapay olarak büyütülmüş bir anten açıklığı etkisi yaratır ve gerçek bir açıklığa sahip fiziksel bir antenle mümkün olandan daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin oluşturulmasına izin verir. 2010'dan bu yana, hava sahası sistemleri yaklaşık 10 cm'lik bir çözünürlük ve ultra geniş bant sistemleri birkaç milimetrelik çözünürlükler sağlamaktadır.

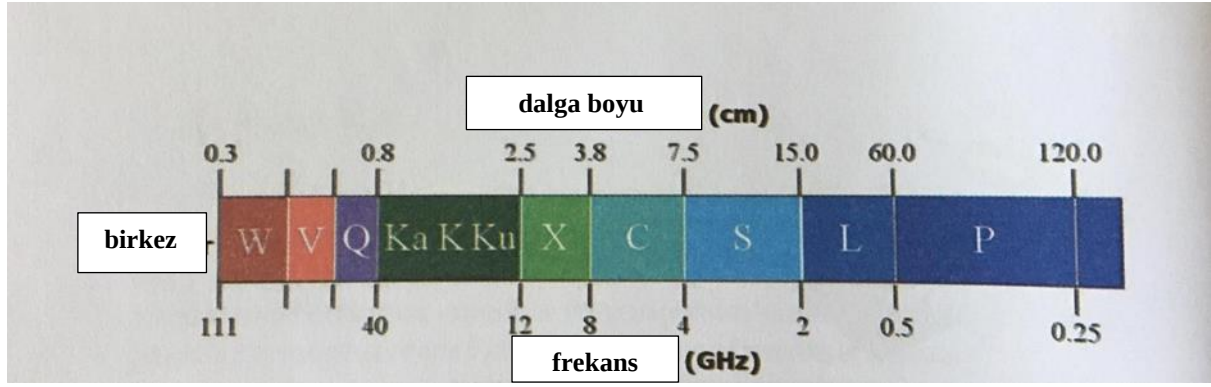


Şekil 44. SAR çalışma prensibinin bir bölümünün çizimi



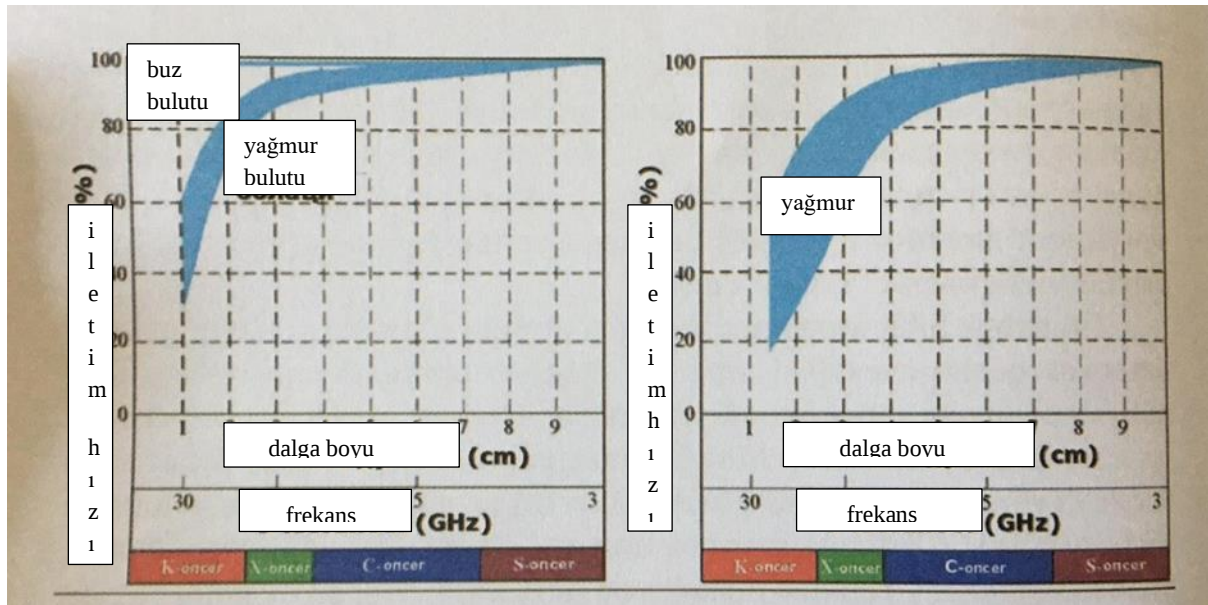
Şekil 45. Hedefe bir radyo dalgası darbesi gönderirken SAR şeması onu "aydınlatır" ve her darbenin yansıması alınır ve kaydedilir

SAR aktif bir sensör olduğundan ve geniş bir radyo spektrumunda bir mikrodalga bandı kullandığından, büyük penetrasyon yeteneği ile gece ve gündüz kayıt yapma özelliğine sahiptir. Bir dereceye kadar, yağmurda da kayıt yapabilir. L ve R mikrodalga bandı, bitki örtüsüne ve toprağa geniş bir nüfuz etme derinliğine sahiptir, bu da nesnelerin iç kısmı hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Bu özellikleri nedeniyle SAR, okyanusbiliminden arkeolojiye kadar çeşitli araştırma alanlarında kullanılabilir.



Şekil 46. Geniş radyo spektrumunda mikrodalga aralığını kullanan aktif SAR sensörü

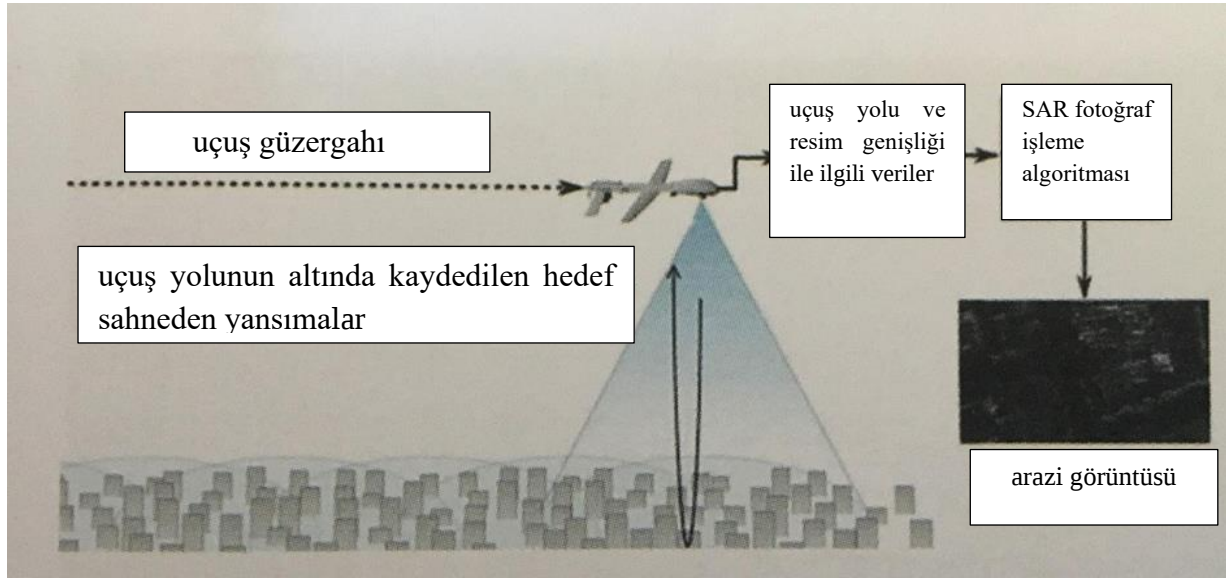
SAR, insansız hava araçlarında hava sahasından uzun süreli gözlem için kullanılır. Bu, uzun süren tipik görevlerde etkilidir. SAR genellikle zorlu hava koşullarında, askeri gözetimde ve çevresel izlemede kullanılır. SAR görüntüleri, İHA uçuşunun uzaktan kumandasında ve yer yüzeyi haritalamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR topografya, oşinografi, jeoloji (örneğin, araziyi ayırt etmek ve arazi ve binaların derinliklerini kaydetmek için) ve ormancılıkta (rakım, biyokütle ve açıklık dahil) kullanılır. Diferansiyel interferometri, volkanik aktiviteyi ve depremleri izlemek için kullanılır. SAR ayrıca sivil altyapının ve köprüler gibi çevrenin istikrarını izlemek, çevreyi, petrol sızıntılarını, selleri, kentsel yayılmayı ve küresel değişimi izlemek için kullanılır. Askeri gözetleme, düşmanın niyetlerinin stratejik ve taktiksel değerlendirmesini içerir. SAR, sabit bir anten durumunda (İHA havada iken) önemli bir süre boyunca hareket eden bir hedefi gözlemleyerek tersine de uygulanabilir.



Şekil 47. SAR gece ve gündüz kaydeder ve bir dereceye kadar yağmurda da kayıt yapabilir

SAR, yüksek çözünürlüklü görüntüler çekmek için bir peddir, hareketli bir platforma (hava aracına) kurulur. Yayılan elektromanyetik dalgalar sırayla iletilir, yansıtılır toplanır, elektronik sistemler tarafından dijitalleştirilir ve sonraki işlemler için saklanır. İletim ve alım farklı zamanlarda meydana geldiğinden, farklı konumlara eşlenirler. Alınan geri bildirim

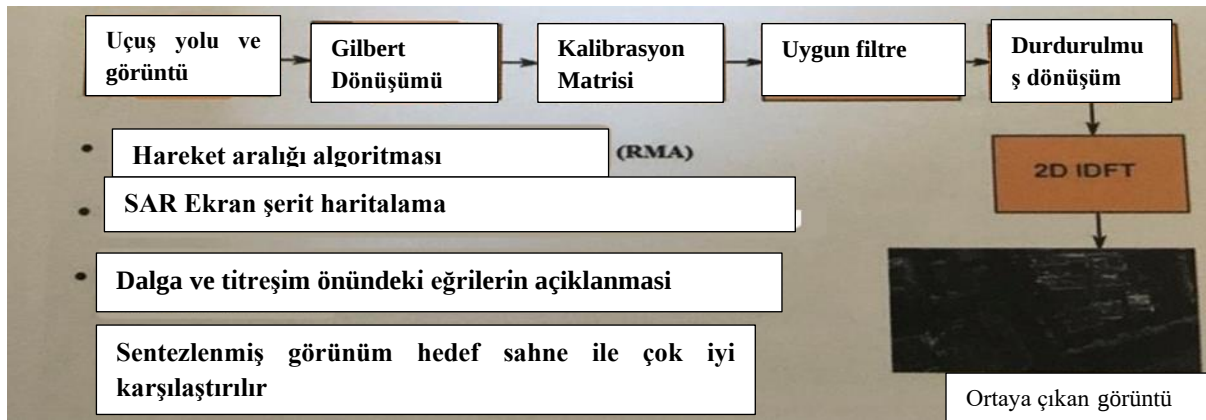
sinyallerinin iyi düzenlenmiş bir kombinasyonu, antenin fiziksel genişliğinden çok daha uzun olan yapay bir açıklık oluşturur. Fotoğrafik radarın özelliklerini elde etmeye yönelik bu süreç, "yapay açıklık" adının tanıtılmasının temelini oluşturur.



Şekil 48. SAR'lı İHA, atış anında yer üzerinde uçar

Kayıt aralığının yönü, uçuş yörüngesine paralel ve antenin görüş alanı içindeki nesnelerin konumlarıyla aynı hizada olduğu için boylamsal yön olarak da bilinen azimut yönüne diktir.

Üç boyutlu (3D) işleme iki aşamada gerçekleştirilir. Azimut ve menzil yönleri, yüksek çözünürlüklü 2D görüntüler (azimut aralığı) oluşturmaya odaklanır, ardından farklı yükseklik bilgileri için farklı bakış açılarından belirlenen karmaşık görüntüler arasındaki faz farklarını ölçmek için bir dijital yükseklik modeli (DEM) kullanılır. Elde edilen irtifa verileri, SAR'ın 2B'ye odaklanmasının sağladığı azimut koordinat aralığı ile birlikte üçüncü bir boyut verir ve bu irtifadır. İlk adım, yalnızca standart işleme algoritmaları gerektirir. İkinci adım olarak, görüntünün birlikte kaydı ve faz kalibrasyonu gibi ek ön işlemler kullanılır.



Şekil 49. Hedef sahnenin görüntü işleminde SAR işlevinin blok diyagramı.

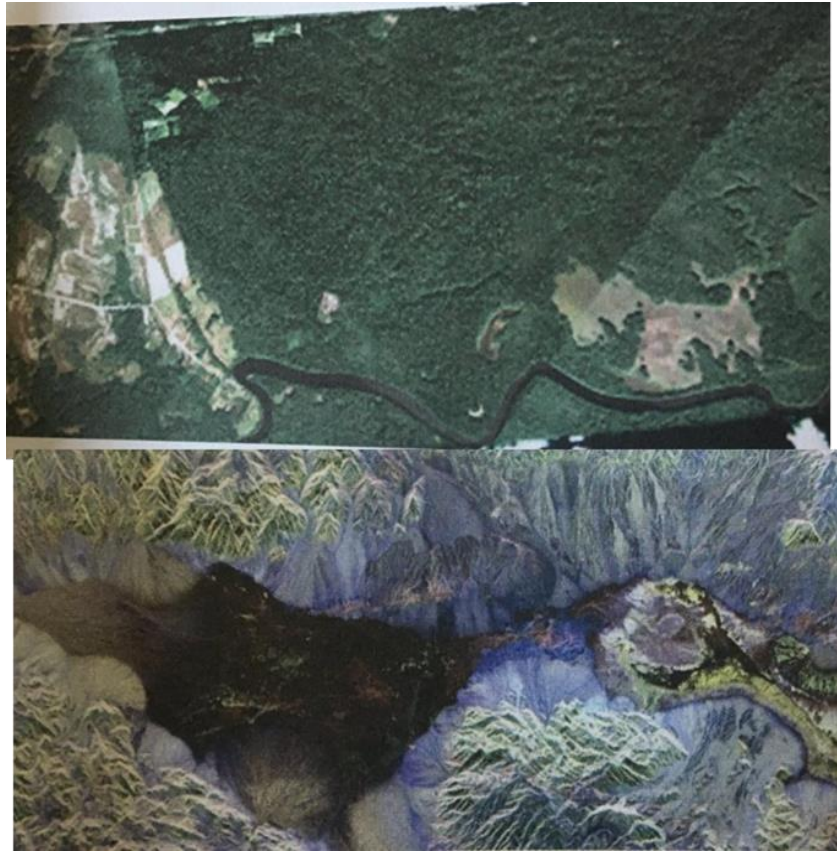
Zaman boyutunda 3D kaydı genişletmek için birden fazla taban çizgisi kullanılabilir.

SAR, X-bandı içinde yer alır ve minimum 2 m/s hızla hareketli bir hedef izleme ve kayıt moduna (GMTI) sahiptir. SAR sensörü, arama modunda 1 metre, nokta modunda 0,3 metre çözünürlüğe sahip görüntüler üretebilme özelliğine sahiptir. Maksimum atış menzili 200 km'dir. Veriler uçakta işlenir ve sıkıştırılmamış (8 bpp) veya sıkıştırılmış (2 bpp) görüntüler olarak iletilir. Sıkıştırma için çeşitli algoritmalar (Joint Photographic Express Group, JPEG) kullanılır. Görüntüler, kendi tanımlı etnik kökene (SDE) sahip NITFS biçiminde (Ulusal Görüntü İletim Biçimi Standardı) yüklenir. SAR Geniş Alan Havadan Gözetleme (WAAS) görüntüleri bölümlere ayrılmıştır. Veriler (hareketli hedef izleme ve kayıt modu, GMTI), konum ve menzil hızı sunan bir metin ürünü olarak iletilir.

İki çalışma modu vardır. Mod 1, referans noktası (konum) olmayan bir görüntü haritası sağlar. Mod 1 hava aracının hareketine göre harita merkezinin hareketidir. Mod 2, klasik teyp eşleme modudur. Haritalama, hava aracının hareketinde, sahnenin önceden belirlenmiş bir merkez çizgisi üzerinde gerçekleşir.



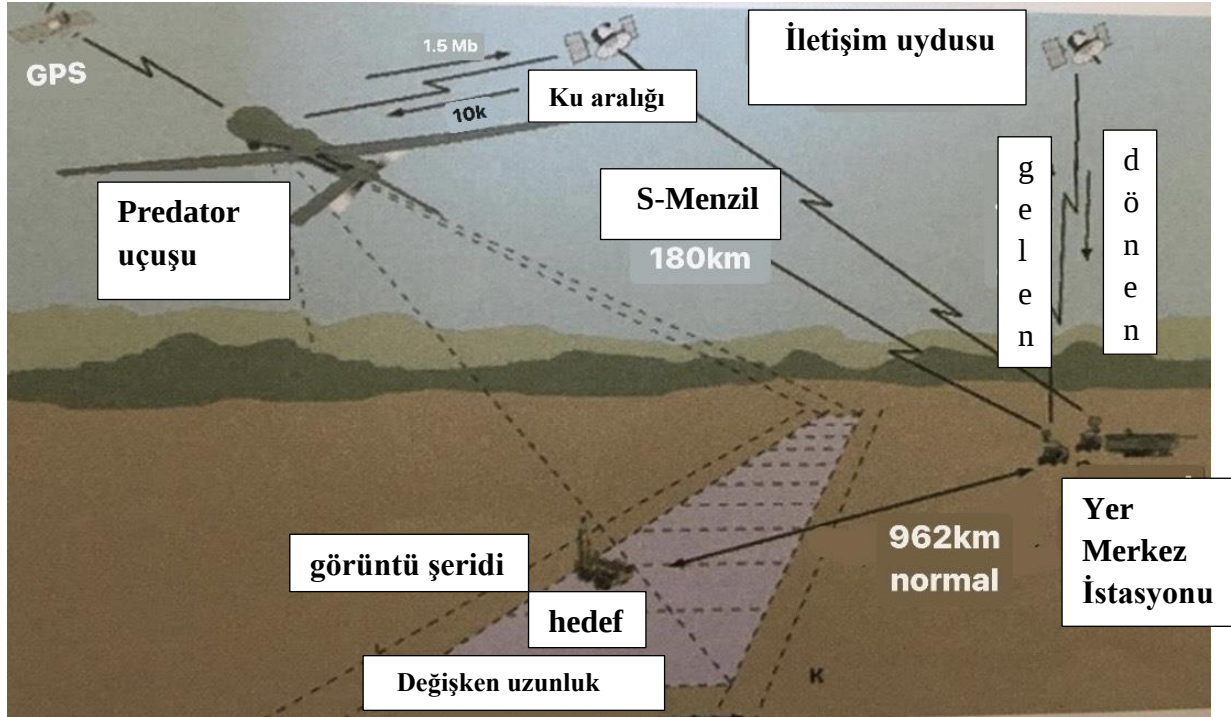
Şekil 50. Görüntü, X bandındaki SAR kaydının sonucudur.



Şekil 51. Çalışma alanı, tropikal yağmur ormanları için önemli bir deney alanı olan Fransız Guyanası'ndaki Parakou'dur; Polarimetri kullanılarak SAR tarafından kaydedilen Ölüm Vadisi

SAR, İHA'nın uçuş hızı vektörünün yönüne 45 dereceye kadar bir açıyla eşlenecek şekilde tasarlanmıştır. 25-35 m/s yer hızında, görüntülerin bant genişliği 800 metredir. 35 m/s'den daha yüksek hızlarda, zemine göre hızdaki artışla orantılı olarak genişlik azalır. Taktik Dayanıklılık Sentetik Açıklıklı Radar (TESAR) alt sistemi, operasyonlardan önce yüklenen ve uçuş sırasında görev profillerini değiştirebilen bir dizi önceden planlanmış görev komutunu yürüterek otonom olarak çalışır.

Sıkıştırılmış ve sürekli SAR görüntüleri Görev / Ultra Yüksek Frekans (LOS / UHF) modlarında kullanılamaz. Sonuçlar, dekompresyon ve görüntüleme için uydu rölesi tarafından 1,5 Mb/sn'lik bir geniş bant bağlantısı aracılığıyla yer kontrol istasyonuna iletilir.



Şekil 52. UAV Predator ile haritalama ve komuta istasyonuna iletim sistemi

SAR sürekli olarak 0,3 metre görüntüler sağlar. İstenilen görüntü İHA'da oluşturulur, sıkıştırılır ve veri bağlantısının Ku aralığı üzerinden yer komuta istasyonuna gönderilir. Görüntüler ayarlanır ve komuta istasyonu ekranlarında SAR modunda görüntülenir. Görüntüler hareket ettikçe operatör, komut istasyonunda kullanmak üzere segmentlerini (yaklaşık 800 m x 800 m) seçme olanağına sahiptir. Görüntüler ayrıca sürekli olarak (Digital Linear Dara, DTL) kasetlere kaydedilir. Alt sistem, operasyondan önce yüklenen ve görev profili sırasında değiştirilebilen önceden planlanmış görev komutlarını uçuş sırasında yürüterek otonom olarak çalışır.

Çoğu durumda, SAR ve hava aracının ilk tasarımı bağımsız olarak gerçekleştirilir ve belirli uygulama öğrenilerek, uygun varyantı belirli bir İHA için tasarlanır veya İHA, belirli bir SAR'a ayarlanır. Bu süreç, arzulanan belirli bir hedefe ulaşmak için kesinlikle sınırlı sayıda seçeneğe yol açar ve sistem tasarımcısına tam bir seçim ve uzlaşma sağlamaz. SAR ve hava aracı projesinin optimum entegrasyonu ile projeye entegre yaklaşımlar geliştirilmesi en avantajlı durumdur. Bu yaklaşım, belirli bir İHA için belirli bir SAR'ın daha geniş bir şekilde kullanılmasına izin verir. SAR ve uçak arasındaki entegrasyonlarında çeşitli koşulsal etkiler vardır. Örneğin, radar yansımasının gücü antenin boyutundan etkilenir, ancak uçağın ebatı, boyutunu, hatta azimut çözünürlüğünü sınırlar.

Uçağın hızı, SAR ve azimut çözünürlüğü dahil olmak üzere hemen hemen tüm özellikleri etkiler. Küçük İHA'ların SAR'larını değiştiren uygulamalar için, uçağın itkisinin her ikisine de güç sağlaması gerektiğini akılda tutmak önemlidir.



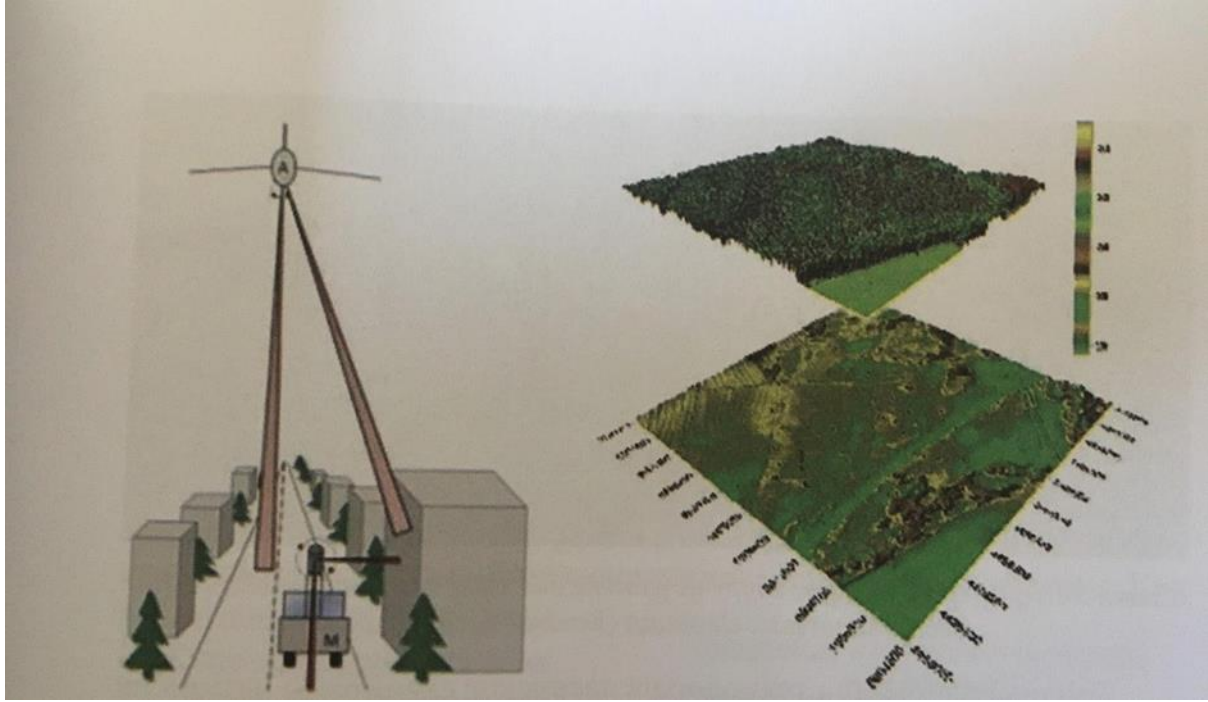
Şekil 53. Işık sistemi

3.6.7 Lidar sistemi

LIDAR sistemi (Light Detection and Ranging, LIDAR), sivil ve askeri kullanımla ilgili geometrik ve diğer bilgileri toplamak amacıyla menzili içinde tespit ederek alanı aydınlatmak ve yakalamak için lazer kullanır. Bu teknolojiyi uygulayarak, kesin koordinatlara sahip çok sayıda nokta elde edilir ve böylece hedef nesnenin yüksek kaliteli görüntü detaylarına ulaşılır. LIDAR sisteminin uygulama alanları birçok açıdan önemli ve faydalıdır.

Trafik ve endüstriyel altyapı unsurları, su yolları, petrol boru hatları, gaz boru hatları ile askeri taktik geliştirme için askeri kuvvetlerin ve ekipmanın konuşlandırılması verilerinin yanısıra stratejik kararlar vermede kullanılabilecek veriler de toplanır.

LIDAR teknolojisi, hedef atış alanından çalışma sahasının konumuna yansıma sürelerini ölçen ışık lazer darbelerine dayalı olarak çalışır. Zaman, sensörler yardımıyla kaydedilir. Bu nedenle anahtar, lazer ışınının yönlendirilme anı ile yansıyan geri bildirim sinyali arasındaki zaman farkıdır. Bu zaman aralığı daha sonra mesafe verilerine dönüştürülür. Sensörlerin konumu ve yönü bilinerek, yüzey noktalarının üç boyutlu koordinatları elde edilir ve bu da dijital arazi haritalarının oluşturulmasını sağlar.



Şekil 54. sol: LIDAR sistemi ile hava sahasından yapılan taramanın gösterimi; sağ: Kaydedilen arazinin, bitki türleri ve şekillerinin net bir göstergesiyle birlikte dijital gösterimi

LIDAR sistemi, çok sayıda noktanın kaydını yüksek hassasiyet ve hızda (saniyede 500.000 noktaya kadar) gerçekleştirir. Konum ve yükseklik olarak lazer noktalarının doğruluğu (+/-) 10 cm'dir. Farklı dalga boylarında olabilen lazerlere ek olarak, tarayıcılar, optik sistemler ve fotodetektörler, navigasyon ve konumlandırma için navigasyon sistemleri LIDAR teknolojisinin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu bağlamda, sensörün konumu hakkında doğru bilgi için çok önemli olan Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve belirli bir konuma göre yönü hakkında bilgi sağlayan eylemsiz navigasyon sistemi kullanılır.



Şekil 55. Dijital olarak 3 boyutlu olarak işlenmiş görüntü. Ağaç yüksekliği net

Üç boyutlu lazer tarama teknolojisinin geçmişi 1960'lara dayanmaktadır ve başlangıçta hava sahasından denizaltıları tespit etmek için kullanılmıştır. Sensörün kendisinin konumlandırılmasını ve kesin geometrik bilgilerin elde edilmesini sağlayan GPS teknolojisinin geliştirilmesinden sonra daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Operasyonel kullanımın başladığı 1990'lardan bu yana, LIDAR teknolojisi hem hız hem de kayıt kalitesinde ve veri işleme yöntemlerinde önemli ölçüde gelişti.



Şekil 56. 3B model örneği, yaklaşık 1000m uzunluğunda ve yaklaşık 100m genişliğinde, demiryolu raylarının etrafındaki alan (Kokemaki, Finlandiya)

LIDAR sisteminin klasik yöntemlere göre avantajı, yüksek doğrulukta sayısal arazi modelleri (DMT) oluşturma imkânı ile daha hızlı, daha verimli ve daha ekonomik veri toplamaya olanak vermesidir. Öte yandan, daha küçük dalga boyuna sahip bir lazer ışını yardımıyla LIDAR, benzer yansıma ilkelerine dayanan radar veya sonar teknolojilerine üstünlük sağlayarak daha küçük nesnelerin algılanmasını sağlar. Deneyimsel olarak, LIDAR sistemi, bir drone ile daha geniş arazileri araştırmak için en verimli kullanımdır.

LIDAR, birkaç ABD şehrinde kentsel trafikte deneysel olarak kullanılan otonom minibüslerde (sürücüsüz) temel bir sensör olarak uygulanmaktadır.

3.6.8 Yazılım

İHA kontrol yazılımı, otopilot dahil olmak üzere programlanmış mantık, uçuş komut kontrol kanunlarıdır. İHA'lar, uçuşu gerçek zamanlı olarak kontrol edilen sistemlerdir.

Güvenli ve doğru İHA uçuşu, durum vektörünün istenen ve ayarlanmış parametrelerine göre uçuşun düzenlenmesi (doğrulama) için sensör verilerindeki (kodlayıcılar) değişikliklere hızlı yanıt vermenin yanı sıra operatörden bu isteğin değiştirilmesini (komut-RC) gerektirir. Kullanılan birkaç sistem var. Bunlardan biri Henomal'dır.

Aerodinamik asimetrik problem, özellikle türbülanslı atmosferlerde uçarken genellikle malzeme seçimindeki sınırlamalardan etkilenen üretimdeki teknik hatalar nedeniyle güvenli ve istikrarlı İHA uçuşunun gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu sorun özellikle küçük (hafif) drone'larda görülmektedir. Yeterli kontrol algoritmaları uygulanarak, aerodinamik asimetrinin istenmeyen etkileri giderilir ve uçağın stabil uçuşu sağlanır. İHA'lar genellikle küçük kütlelere sahiptir ve tüm hatalara, bozulmalara karşı çok hassastırlar. İstikrarsız uçuşlara karşı özel önlemler alınmalıdır.

Büyük arızalar söz konusu olduğunda, tasarım ve kararlılık projesi doğrusal olmayan sistemlerin uygulamalı tekniklerini içerir. Daha önemli arızalar durumunda, sistem analizi ve sentezinin doğrusal teknikleri yerine çok daha karmaşık teknikler uygulanmalıdır.

3.6.9 Navigasyon sistemleri

Navigasyon işlevinin çıktısı, istenen yörüngeyi ve uçuş modunu oluşturmak için kontrol yüzeylerinin konumunun ve motor çalışma modunun uygun düzeltilmesini yönetici olarak kontrol eden uçuş kontrol sisteminin girdisidir.



Şekil 57. Çarpışma önleyici ışık

3.6.10 Eylemsiz Navigasyon Sistemi (INS)

Eylemsiz navigasyon, doğrudan uçağın gövdesine yerleştirilmiş ve harici bir yapay girdiyle (örn. GPS) ilgili olmayan sensörlerden gelen girdilere bağlıdır. Bu sayede yetki dışı ayarlamalara veya dışarıdan müdahalelere maruz kalmaz.

Eylemsiz navigasyonun amacı, İHA'nın hızını ve konumunu belirlemek için yerleşik sensörlerden gelen sinyallerin bağımsız olarak işlenmesidir.

INS'nin ana bileşenleri sensörlerdir ve bunların doğru şekilde kurulması ve ayarlanması çok önemlidir. Amaçları, seçilen koordinat sistemi içinde referans durumundan sapmayı belirlemek için mevcut İHA durum vektörünü belirlemek için veri toplamaktır. Eylemsizlik Ölçüm Birimi (IMU), İHA'ya etki eden konumu (yunuslama, yuvarlanma ve sapma), hızı, yükseklik değişimini ve eylemsizlik kuvvetini ölçebilir. Navigasyon işlevi, uçuş rehberliği, navigasyon ve kontrol sisteminin bir parçasıdır. Uçağın konumu ve hızının yanı sıra yönünü veya konumunu (durum vektörü olarak bilinir) hesaplamak için çeşitli parametreler içerir.

Navigasyon, birden çok sensör ve alt sistemden gelen girdiye dayanır:

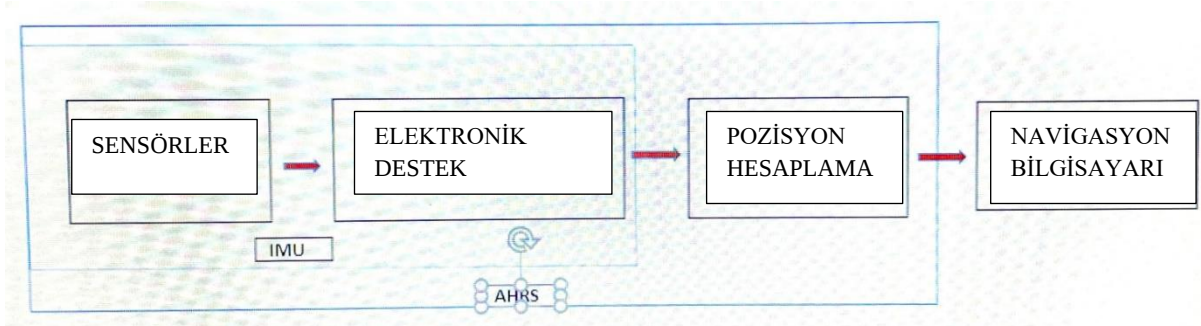
- ✂ İvmeölçerler
- ✂ Jiroskoplara
- ✂ Manyetometreler

IMU, diğerlerinden daha güvenilir girdi sağlayarak bazı sensörlerin eksikliklerini kolayca telafi eder, bu da daha az parazit ve daha az sapma (hata) ile çıktı sağlar. IMU ile ilgili temel sorun, açısal ve doğrusal hız entegrasyon işlemi sırasında doğal olarak zaman içinde hatalar biriktirmesidir.

Hava veri sistemi, ortamdaki atmosferik koşulları ölçer. Şu sensörleri içerebilir:

- ✂ Barometre statik basıncı ölçer ve bu sonuçlardan uçağın yüksekliği hesaplanır.
- ✂ Statik-pitot sistemi bir pitot tüpü içerir ve statik ve dinamik toplamını oluşturan toplam hava basıncını ölçer. Bu sistem uçuş hızını belirlemek için kullanılır.
- ✂ Termometre sıcaklığı ölçer ve yapısı çeşitli prensiplere göre gerçekleştirilebilir. Çevreleyen havanın yoğunluğunu tahmin etmek için sıcaklık gereklidir. Yoğunluk, dinamik basınç verilerinden uçuş hızını hesaplamak için kullanılır.

İHA'nın referans sistemine (Tutum ve Yön Referans Sistemi, AHRS) göre durumu; jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre sensörlerinden gelen bilgilere göre belirlenir. Belirlenen fark otomatik pilotun entegre edildiği uçuş komutları ile işlenir ve sistematik olarak sıfıra indirilir. Eylemsiz navigasyon sistemi INS (Şekil 39), sensörler kullanarak havadaki bir nesnenin navigasyon parametrelerini ölçmek için tasarlanmıştır ve iletilen veriler bir bilgisayar tarafından işlenir. Uçağın havadaki durumunun vektöründeki değişiklikler, öteleme hareketi ivmeölçerlerle, dönüş ise jiroskoplarla ölçülerek tespit edilir.



Şekil 58. Eylemsiz Navigasyon Sistemi

Eylemsiz navigasyon sistemi (INS), sensörlerden alınan sinyalleri devamlı olarak alır, bunlara dayalı olarak navigasyon parametrelerini hesaplar ve elde edilen sonuçları referans durumla (başlangıçta, uçağın geri kalanının varsayımsal durumunda) veya yeni elde edilen sonuçlarla karşılaştırır. Bu sayede İHA'nın yönü ve hızı gerçek zamanlı olarak belirlenir.

Havadaki İHA hareket parametreleri, dış ortamla ilgili olarak sürekli bir referans karşılaştırmasına gerek kalmadan belirlenir. INS, dış referanslara ihtiyaç duymadan altı serbestlik derecesi, üç öteleme (üç eksen boyunca) ve üç dönüş (etrafında) için kinematik parametreleri ölçerek İHA'nın hareketine göre çalışır.

Eylemsiz seyrüsefer ilkesi kavramı, eksenler boyunca öteleme hareketindeki ivmenin ve eksenler etrafındaki dönüş açısal hızlarının ölçülmesine dayanır. Bilinen kütle ve ölçülen eylemsizlik kuvvetine bağlı olarak bilgisayar, devrim kuvvetine dayalı olarak ivmeyi ve açısal hızı belirler. INS'nin önemli bir dezavantajı, mevcut sensörlerle yapılan ölçümlerdeki sapmalardır. Uygulamada, INS ve diğer navigasyon sistemlerinin bir kombinasyonu ile bunun üstesinden gelinebilir. Örneğin, GPS sisteminde, mutlak konum verileri her saniye elde edilirken, INS'nin kendisi ortalama değerleri enterpolasyon yapar. Uygun kontrol döngüsünde Kalman filtresi kullanılarak INS ölçüm hataları en aza indirilir. Eylemsiz navigasyon sistemi için eylemsizlik referans platformu, eylemsizlik aracı ve ölçüm birimi gibi terimler birbirleriyle ilişkilidir:

$$m \cdot \ddot{s}(t) = m \cdot \frac{d^2 s(t)}{dt^2} = m \cdot a(t) = \sum_I F^I$$

Şekil 59. Eylemsizlik aracı ve ölçüm birimi, eylemsizlik aracı ve formülleri

Temel olarak, matematiksel denklemlerle temsil edilen bu süreç, Newton'un mekanik yasalarına dayanmaktadır.

Uçağın toplam ivmesinin (yerçekimi sabiti dahil) hesaplanması doğrudan şu şekilde yapılabilir: Hava aracının (veya herhangi bir başka referans nesnenin) ilk hızı ve başlangıç konumundan, sensör verilerinin alındığı iki an arasında zaman içinde entegrasyonu takip eder. Sensörün (jiroskop) açısal devriminin zaman içinde küresel uzayda eğim açısına basit entegrasyonla belirlenmesiyle dönüştürülebilen açısal hızlar için aynıdır. INS, uzayda karşılıklı olarak ortogonal üç yönde altı değişkenin toplam eşzamanlı ölçümünü verir. Kendi açısal hızları ile üç ivme ve üç dönüş ile üç öteleme serbestlik derecesi olarak adlandırılırlar.

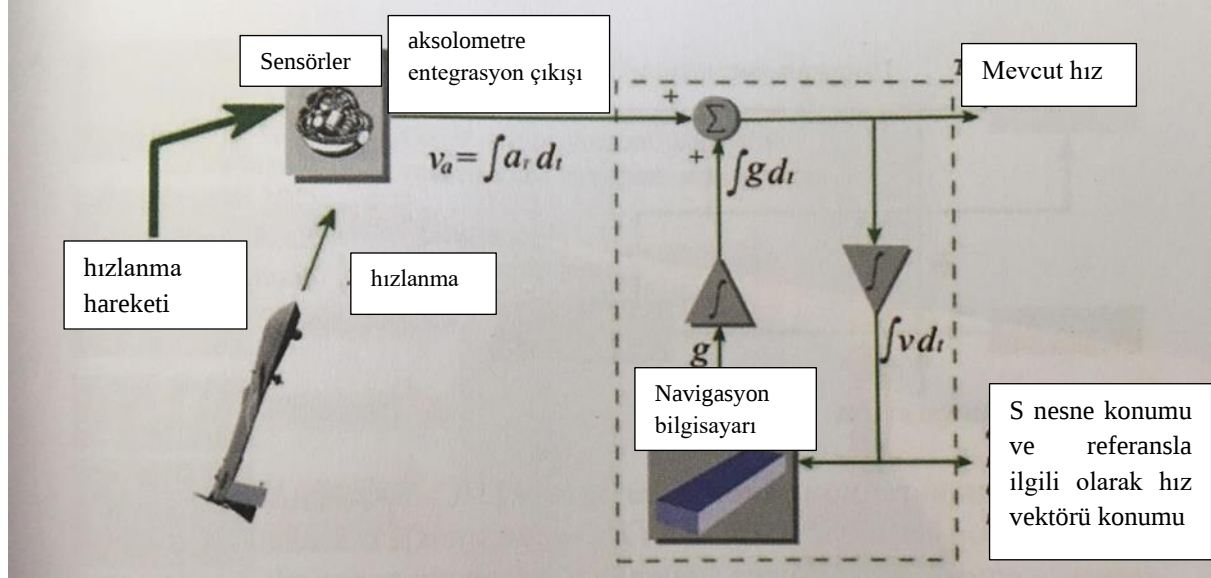
$$\frac{ds}{dt} = v \quad \mapsto \quad \frac{dv}{dt} = g + a_T$$

Son denklemlerde (t), uzay aracının konumu belirlenir. Eylemsizlik referans çerçevesine göre hız vektörü V 'dir. İvme vektörü, uçağın itme kuvveti ve direnci arasındaki farkın bir sonucu olarak tanımlanır. Toplam ivmenin vektörü, a ve g 'nin toplamıdır. Uzay aracının konumunun ve hızının basit bir hesabı, şu formüle sahip birinci dereceden farkların denklemlerine dayanır:

$$\Delta v_a(t_n) = v_a(t_n) - v_a(t_{n-1})$$

$$s(t_n) = s(t_{n-1}) + v(t_{n-1}) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot g_{n-1} \cdot (\Delta t)^2 + \frac{1}{2} \cdot \Delta v_a(t_n) \cdot \Delta t$$

V_a vektörü, yerçekimi ivmesinden kuvvet bileşeninin etkisi dikkate alınmadan entegrasyon işlemiyle elde edilir. Yerçekimi vektörü g_n , t_n zamanındaki konumun bir fonksiyonudur. Hız, bir zaman adımı aralığında ortalama yerçekimi değeri kullanılarak güncellendiğinden, bu yöntem "*ortalama g yöntemi*" olarak adlandırılır. Uzay aracının Dünya yörüngesindeki hatalarının dikkatli bir şekilde incelenmesi, bu algoritmanın iki saniyelik bir entegrasyon zaman adımı kullanarak 35 dakikalık bir uçuş süresi için 100 m'lik bir hata ve 0,2 m/s'lik bir hız verdiğini göstermiştir. Tipik bir ivmeölçer hatasıyla karşılaştırıldığında, bir bilgisayar algoritmasının hatası birkaç kat daha küçüktür.

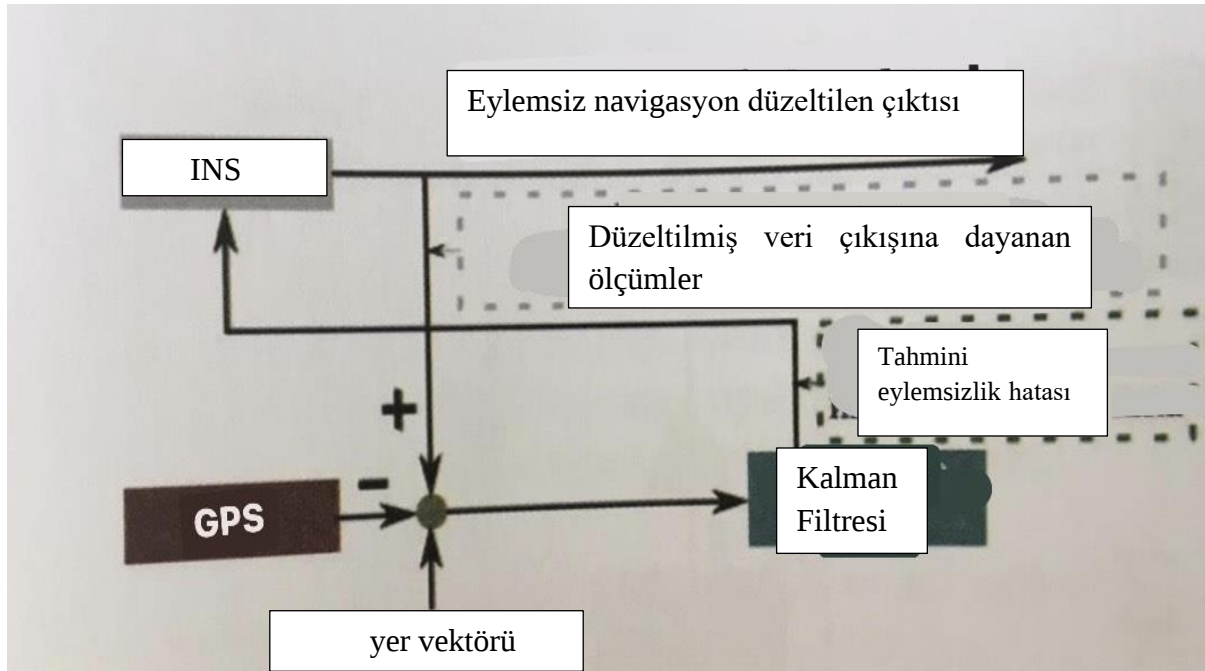


Şekil 60. Şematik olarak gösterilen INS fonksiyonlarının prensibi

Tüm eylemsiz navigasyon sistemleri, doğru sonuçlardan sapma eğilimindedir. Hızlanma ve açısal hız ölçümündeki küçük hatalar, navigasyon parametresi hatasının kademeli olarak büyütülmesine entegre edilir. Koordinat sisteminin üç eksenine ilişkili olarak, ölçüm adımlarında, öteleme ivmesi ve açısal hız hakkında halihazırda alınan sinyale dayalı hesaplanan yeni pozisyonun bir öncekine göre belirlenmesine ilişkin uygulanan ilke, nihai sonuca sürekli olarak sistem hatası ekler.

Hatalar, ölçüm ve hesaplama süreci yenilendikçe aynı oranda başlangıç durumuna göre kümülatif olarak artar. Bu özellik nedeniyle, görüntülenen konumun başka bir navigasyon sisteminden, genellikle GPS'den alınan referans verileriyle periyodik olarak düzeltilmesi gerekir. INS ile navigasyon ile nesnenin tam konumundan elde edilen miktardaki sapma, ortalama olarak 1,1 km'lik seyahat mesafesinde ve sistem çalışmasının saatte yaklaşık on derecelik yön değişiminde daha azdır. Buna göre, bir eylemsiz seyrüsefer sistemi genellikle başka bir sistemle kombinasyon halinde kullanılır, böylece herhangi bir sistemin tek başına kullanılmasıyla mümkün olandan daha yüksek bir doğruluk derecesi sağlar. Örneğin, alan kullanımında eylemsizlik hızı izlenirse, hareket eden nesne (yerde) ile periyodik olarak sıfıra güncellenir, konum uzun süre doğru kalır. Bu sözde sıfır güncelleme oranı sıklıkla kullanılır.

Genel kontrol teorisi, özellikle Kalman filtrelemesi, çeşitli türlerdeki sensörlerden gelen bilgileri birleştirmek için teorik bir çerçeve sağlar. En yaygın alternatif sensörlerden biri, GPS gibi küresel bir uydu navigasyon sistemidir. INS ve GPS'ten gelen bilgileri doğru bir şekilde birleştirerek, konum durumunda ve hareketli nesnenin hızında hataların oluşmasını ortadan kaldıran bir GPS / INS sistemi elde edilir. Buna ek olarak, örneğin bir araç izole bir şekilde bir tünelden geçtiğinde, GPS sinyalleri mevcut değilken INS kısa vadeli bir değer olarak aynı şekilde kullanılabilir.



Şekil 61. Döngü GPS ve Kalman filtreli INS şeması

Kalman filtresi (KF), navigasyonda çok etkili bir stokastik tahmin edicidir (yargılayıcıdır). Önceki parametrelerin değerleri ile mevcut olanlar arasındaki sapmalardaki varyasyonları en aza indirmek açısından en uygun kombinasyondur. Belirsiz dinamiklere sahip sistemlerin durumunu değerlendirmek için gürültülü sensör sinyallerini birleştirme prosedüründe son derece verimli ve çok yönlüdür. Sensörün gürültü sinyalleri (çıkışları) ayrıca GPS ve INS'den gelen çıkışları da içerir.

Sistemin konumu, uçağın konumunu, hızını ve genel dinamiklerini içerebilir. Belirsiz dinamikler ayrıca sensör sinyali parametrelerinde öngörülemez bozulmaları veya pilot kaynaklı bozulmaları veya harici bozulmaları (rüzgâr gibi) içerir.

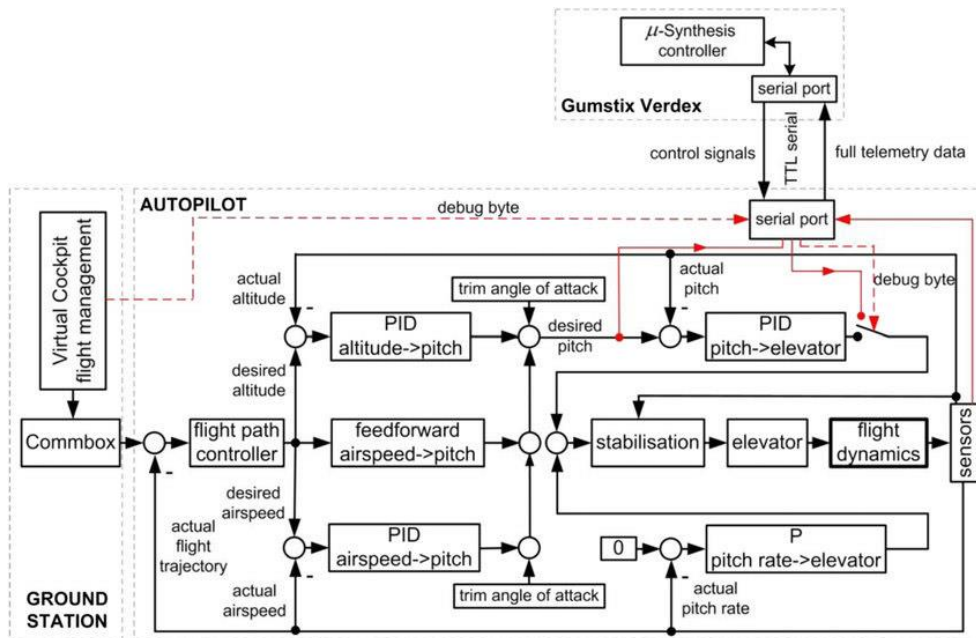
Kalman filtresi, jiroskop ve ivmeölçer hatalarından dolayı sisteme giren hatayı tahmin etmek için kullanılır. Bu hatalar, GPS kullanılarak ölçülen değerlerle ilgili olarak ,durum vektörü hk form z biçimindedir.Kalman filtresi ile kuplaj-ileri kontrol döngüsündeki GPS sistemi yardımıyla hatalar sıfır değerlere sahip olma eğilimindedir.



Şekil 62. Drone T300 için Aydınlatma sistemi

3.7 Uçuş Komutları, Yönetim ve Stabilitesi

İHA kontrol ve kararlılığının tasarımı, analizi ve sentezinde doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Uçağın konfigürasyonuna ve aerodinamik şemasına ve dayanabileceği uçuş koşullarına bağlıdır.



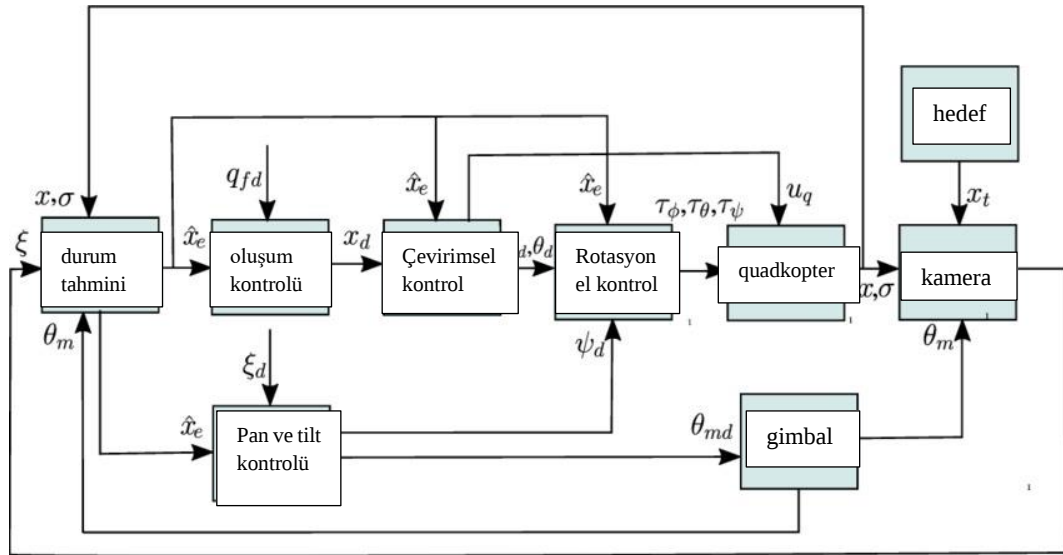
Şekil 63. İHA uçuş sistemlerinin entegrasyonu ve karşılıklı bilgi alışverişi

Genel olarak, İHA'lar, operasyonun ihtiyaçlarına göre seçilebilen farklı yönetim modlarına sahiptir. En yaygın ve farklı isimlerle bilinen üç yönetim modu vardır. Açık, kapalı ve hibrit tasarımlar kullanılır:

- ✂ Açık devre, geri besleme döngüleri aracılığıyla sensör verilerinden geri bildirim dahil etmeden doğrudan bir kontrol sinyali (daha hızlı, daha yavaş, sola, sağa, yukarı, aşağı hareket etmek için) verir.
- ✂ Kapalı devre, geri bildirim döngüleri aracılığıyla sensör geri bildirimi ve uçağın davranışını düzenlemek için bir karşılaştırmacı içerir. İstenen değer ile durum vektörünün halihazırda gerçekleştirilen parametreleri arasındaki hata (fark) zorunlu olarak sıfıra düşürülür. Bu sistem, verilerden (istenen) elde edilen karşılıklı sapmanın doğrusal düzenleme alanında, farkı sıfıra indirerek verimli bir şekilde çalışır.
- ✂ Bu iki tasarım, genellikle daha zorlu projelerde birleştirilir.

Genel olarak, bu kontrol modları tüm İHA türlerinde kullanılmaktadır. Ancak, profesyonel olanların daha gelişmiş ve sofistike otopilotları vardır. Daha karmaşık, yüksek kaliteli stabilite ve kontrol özelliklerine sahip olmaları ve bunun yanı sıra giderek daha fazla otonom uçuş yapmaları beklenmektedir. Yarı otomatik ve manuel kontrol modlarında hem İHA pilot eğitimi hem de koçluk vardır. Bu, bazı operasyonlar yetkili havacılık otoritesinin gerekliliklerine bağlı olarak özel uçuş biçimleri gerektirdiği için faydalı bir özelliktir.

Otopilot modu, pilotun drone'u manuel olarak çalıştırabilmesi için uçuş sırasında herhangi bir zamanda devre dışı bırakılabilen olağan otopilot kontrol modu olacaktır.

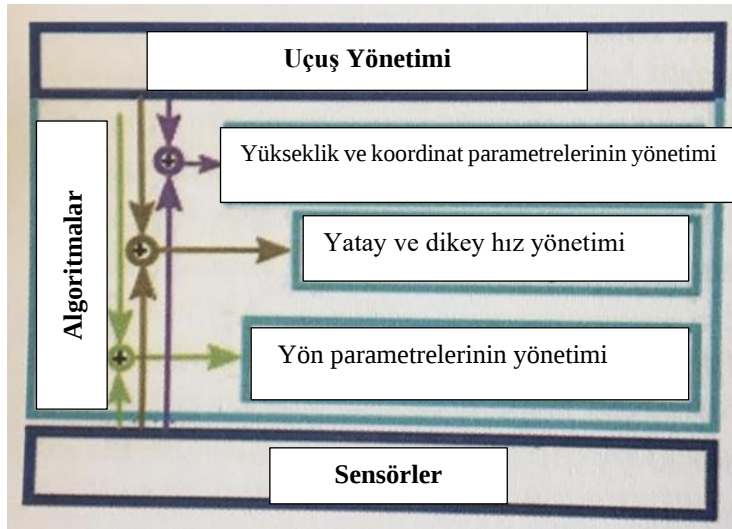


Şekil 64. Global drone kontrol şeması

Manuel kontrol modunda (MC), pilot, kontrol yüzeylerinin konumlarını joystick aracılığıyla dikte ederek drone'u tamamen kontrol eder; bu, kontrol yüzeylerinin servo aktüatörlerinin ve "gaz kelebeğinin" (elektrikli motorlar için potansiyometre) uygun hareketiyle sonuçlanır.

Pilot, bu doğrudan kontrol modunda otopilotun yardımı ve düzeltmesi olmaksızın, yalnız olduğu için iyi eğitilmiş ve donanımlı olmalıdır.

Yarı otomatik mod, manuel moda eşdeğerdir, ancak otomatik pilot yardımcı olur. Bu durumda pilot, joystick aracılığıyla iletilen sinyallerini alan otopilot aracılığıyla komut verir, otomatik olarak stabilize komut sinyalleri kontrol yüzeylerine ve servo aracılığıyla "gaz kelebeğine" iletilir. Esasen, önceden pilotluk bilgisi olmayan bir kişi, drone'u bu şekilde manuel olarak çalıştırabilir. Otopilot, uçağın konumunu kontrol ederken pilot, uçuşun irtifasını, hızını veya diğer referans parametrelerini manuel olarak kontrol eder. Diğer şeylerin yanı sıra, İHA üretiminin asimetrisinin mevcut olduğu varsayılarak, dümeni kontrol ağı dışında ayarlamak için bir algoritma uygulanır. Simülasyonlar, doğrusal düzenleme yönteminin sürekli ve istikrarlı İHA uçuşunun güvenliğini geliştirdiğini göstermektedir.



Şekil 65. İHA otopilot uçuş kontrolünün tipik şeması

Bu yönetimin mühendislik fizibilitesi çok önemlidir. Bunu göz önünde bulundurarak, bu yöntemin pratik mühendislikte harika bir uygulaması vardır. Modern drone uçuş kontrolleri, temelleri deha Nikola Tesla'nın patentinde bulunan radyo kılavuzluğu (RC) ilkesinden kaynaklanmaktadır. Tarihsel olarak, başlangıçta, pilotlar uçağı yalnızca doğrudan radio sinyalleri (RC) ile çalıştırmıştır.

Günümüzün uçuş kontrol sistemleri, GPS, barometrik basınç sensörleri, hız sensörleri ve geniş listelerini koruyan diğerleri gibi geniş bir sensör yelpazesine sahiptir. Uçuş bütçesi parametrelerine ana katkı hala ivmeölçerlerle birleştirilmiş jiroskoplardır. Adından da anlaşılacağı gibi, ivmeölçerler eylemsizlik, keskin manevra $n \cdot g$ veya durdurma kuvveti tarafından tetiklenen ivmeyi ölçer, ancak bu yeterli değildir. Manevranın yoğunluğu, yalnızca ivmeölçer verilerine göre çalışması gereken sistemi "karıştırır". Bu sorun, jiroskopu devreye sokarak çözülür. Eksen etrafındaki dönme yoğunluğunu ölçen jiroskoptan elde edilen sonuçlar, eksenleri etrafındaki eğim açılarını belirlemek için temel oluşturur.

Helikopter uçağı, ana rotor torkunun tüm uçağın reaktif dönüşü üzerindeki aktif etkisini önlemek için bir kuyruk rotoru kullanır. Rotorun aktif dönme momenti, iletilen ve helikopterin tüm gövdesinin dönüşüne zorla etki eden reaktif bir moment oluşturur.

Denge ince ayarlandığında her şey muntazam çalışır, ancak yine de özellikle acemi pilotlar için sorun olabilir.



Şekil 66. Ortak Üs'teki (LSA Anaconda) İHA Uçuş Ekibi, Irak, 20 Nisan 2005

Bu sorun bir jiroskop kullanılarak çözülmüştür. Büyük bir kütleye sahip dönen eleman, helikopterin dönüşüne tepki olarak eğilir. Bu eğimin etkisi sensör tarafından arka rotora bir sinyal-komut şeklinde gönderilerek helikopter gövdesinin dönmesi engellenir.

Mekanik jiroskopların yerini sağlam mikro-elektro-mekanik sistemler, jiroskoplar - mikrodenetleyiciler (Mikro Elektro-Mekanik Sistemler, MEMS) almıştır. Mikrodenetleyiciler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı ve ileri düzey projelerin geliştirilmesini sağladı.

3.8 Uçuş otonomisi

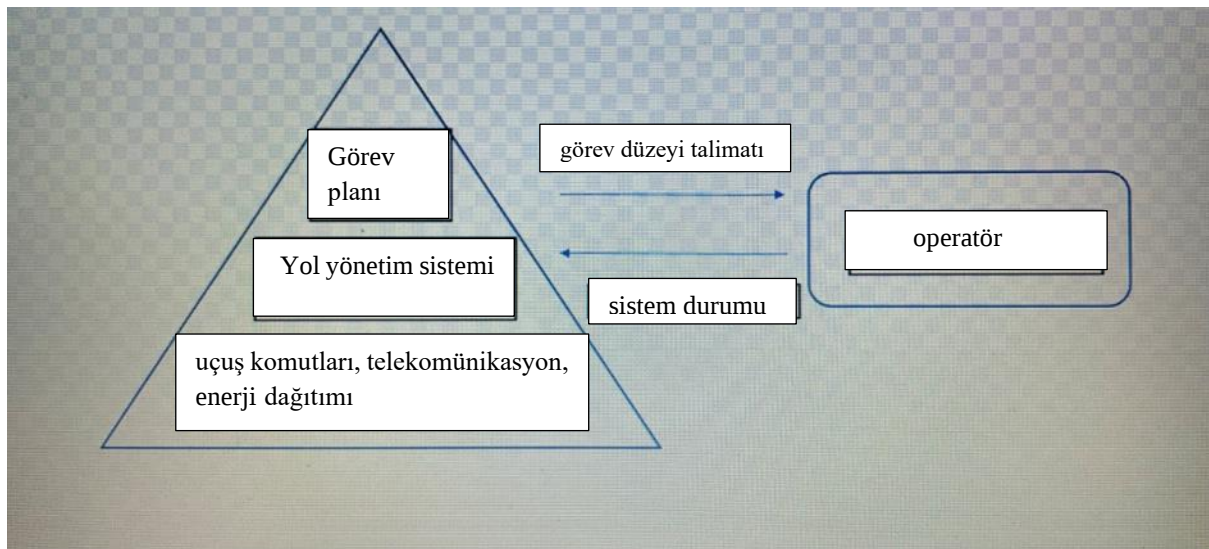
Uçak durum ölçüm sistemleri, istenilen uçuş moduna daha hızlı ve sürekli olarak ulaşmak için sensörlerden kaydedilen sinyalleri alıp işleyerek özel algoritmalar ile füzyonunu kurar. Bu, uygun otonom kontrol döngüleri ile oluşturulan kontrol şemalarının verimliliği için kilit bir görevdir. BM özel ajansı (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü, ICAO), İHA'ları uzaktan çalıştırılan ve tamamen otonom olarak sınıflandırmıştır. Pratik uygulamada, İHA'lar combine yönetime sahiptir ve orta derecede otonom grubuna aittir. Örneğin, uzaktan kumandalı uçaklar çoğu durumda otonom olarak üsse dönebilir.

Otonomun temeli, tüm sistem içindeki değerleri ölçmek için sensörlerin kullanımına dayanmaktadır. Bununla birlikte, gelişmiş otonom ayrıca durumsal farkındalık, gelişmiş teknolojiye sahip sensörler tarafından sağlanan hava aracı çevresindeki ortam bilgisi, tüm sinyallerin birleştirilmesi ve elde edilen entegre bilgiler gerektirir.

Tüm hiyerarşik kontrol sistemlerinde prensip olan çok katmanlı kontrol döngüleri ile otonom kontrol sağlanır.

2016'dan bu yana, uçuş kontrol uygulamaları saniyede 32.000 defaya kadar vuran düşük seviyeli döngüler içerirken, daha yüksek seviyeli döngüler saniyede bir kez vurabilir. Prensip, bilinen geçici süreçler sırasında, kontrol komutları ile uçağın davranışını daha güvenilir ve kolay bir şekilde değiştirmektir. Bu katmanlarda kullanılan en yaygın kontrol mekanizması, elektronik hız regülatörleri ve motor çalışması modları için girdilerin hassas bir şekilde hesaplanmasıyla Eylemsiz Ölçüm Birimi'nden (IMU) gelen verileri kullanarak dört rotorlu gezinmeyi gerçekleştirmek için kullanılabilen orantılı integral türev (PID) regülatörüdür.

İHA görev hiyerarşisi planlarının yürütücüleri, genel durum aramaları veya genetik algoritmalar gibi yöntemler kullanır.



Şekil 68. otomatik kontrollü İHA'nın temelleri

Orta katman algoritmalarına örnekler:

- ✂ Güzergâhın planlanması, uçağın hedeflere uygun olarak hareket etmesi gereken optimum belirlenmesi ve engeller veya gerekli yakıtın sağlanması gibi görevin sınırlamalarına bağlı kalınması;
- ✂ Güzergâhın planlanması, uçağın hangi noktalarda hedeflere uygun olarak hareket etmesi gerektiğinin en uygun şekilde belirlenmesi ve engeller veya gerekli yakıtın sağlanması gibi görevin sınırlamalarına bağlı kalınması
- ✂ Yörünge kontrolü, uçağı yörüngede izin verilen sapmalar dahilinde sınırlandırır.

İHA üreticileri, aşağıdakiler gibi özel otonom operasyonlar sağlar:

- ✂ Kendini ayarlama, arazi koşullarına ve eksen dönüşüne göre durum stabilizasyonu;
- ✂ İrtifayı koruma - uçak, barometre veya yer sensörlerini kullanarak uçuş irtifasını koruma;
- ✂ Uydu navigasyonunu kullanarak konumu koruma, yunuslama açısını, enine eğim ve dönüşü, uçuş stabilitesini ve irtifayı koruma;
- ✂ Özel mod, uçuş eksenlerine göre değil, pilotun konumuna göre eğim kontrolü;
- ✂ Yatay uçuş sırasında güvenli, otomatik yuvarlanma ve dönme kontrolü;
- ✂ Çeşitli havacılık veya yer tabanlı sensörler ve sistemler kullanılarak kalkış ve iniş;
- ✂ Kalkış noktasına dönerek eve dönüş özelliği (genellikle uçuş yörüngesinin altındaki yer konfigürasyonu nedeniyle olası engellerden kaçınmak için önce uçuş irtifası artırılır);
- ✂ Prosedüre bağlılık - uydu navigasyonu (görüntü tanıma veya doğal bir sinyal kullanılarak referans nesneden önce göreceli bir konum korunur.)
- ✂ Uçuş yörüngesindeki kontrol noktalarını kontrol ederek GPS navigasyonu- yörünge üzerinde orta konuma gitmek için uydu navigasyonunun kullanılması;
- ✂ Uzay aracının etrafındaki yörüngenin sürekli olarak hedefin yörüngesinde dönmesi (49 ve 50 arası);
- ✂ Yuvarlanma ve dönme gibi önceden programlanmış uçuş şekilleri.

Günümüzün İHA'ları, uzaktan kumanda, yapay zekâ ve bilgisayar otomasyonunu entegre bir şekilde otonom uçuşta birleştirmektedir.

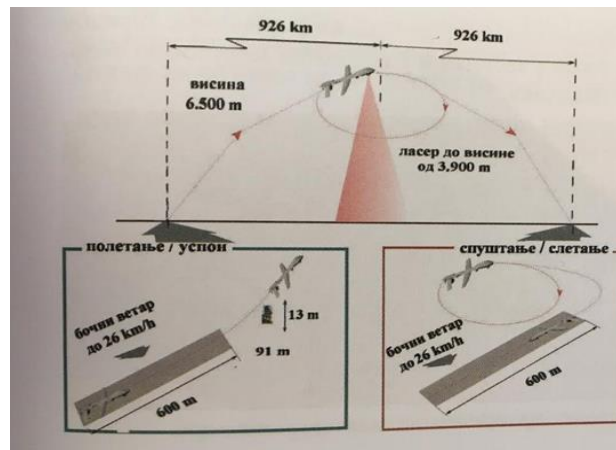
Daha modern versiyonlar, hız bakımı, yörünge stabilizasyonu ve belirli bir yörünge için belirli navigasyon işlevleri gibi daha düşük seviyeli operasyonlarda pilota yönlendirilmede yardımcı olmak için uzaktan kumandalı yerleşik uçuş kontrollerine ve yardımcı otomasyon sistemlerine sahip olabilir. Bu tür sofistike sistemlere "drone" demek yanlıştır, özellikle yörüngelerinin çoğunu insan müdahalesi olmadan çıkarabildikleri ve belirli kararlar verip uygulayabildikleri için "akıllı" hava taşıtları demek daha doğru olacaktır. Bu olanaklar, ileri teknolojilerin gelişmesiyle birlikte yoğun bir şekilde artmaktadır.

Eski dronların otonom olmadığı bilinmektedir. İHA'nın otonomi alanı daha yeni bir kavramdır ve finansmanı büyük ölçüde prestij için askeri öncelikli ihtiyaçlar tarafından yönlendirilen sürekli bir gelişim içindedir. İHA donanımı üretimi ile ilgili olarak, otonomi teknolojisi pazarı az gelişmiştir. Bu nedenle otonomi, gelecekteki İHA'ların geliştirilmesinde bir darboğaz olmaya devam edecektir. Bu alan teknolojik ve ekonomik gizlilik altındadır ve askeri alanda daha da korunmaktadır.

Otomatik kontrol modu, İHA'nın pilotların katılımı olmadan tamamen bağımsız olarak seçenekleri gerçekleştirmesine olanak tanır; bu, bir pilotun (operatör) aynı anda birden fazla durumu kontrol etmesine olanak tanır. Bu durumda, özel bir yazılım tarafından desteklenen otopilot, pilotun operasyonu izlemesine izin veren uçuşun çeşitli aşamalarını gerçekleştirir. Bu aşamalar, kalkış ve iniş, manevra, süzülme, seyir ve diğer birçok olasılık için rotanın ara noktalarını önceden belirlenmiş bir yön ve uçuş yönünde takip etmekten oluşur.

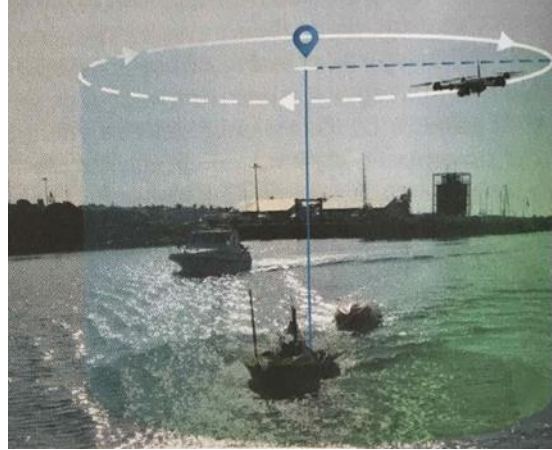
Bazen, önceden ayarlanmış bir rota işlemi sırasında, yeni elde edilen bilgilere ve planlanmamış ihtiyaçlara bağlı olarak değişikliğe özel bir ihtiyaç duyulabilir. Bu noktada, sistem bu olasılığa karşı uyarıda bulunabilir ve videodaki olayları izledikten sonra rehberlik modunda kamera kontrolüne geçmeyi önerebilir. Bu mod aracılığıyla, İHA öngörüselsel olarak kontrolü alır, operatörün kararına göre kamerayı hedef alır ve otopilotun uçuşu ayarlamasına (koordine etmesine), sabit kalmasına ve doğrudan kameranın gösterdiği yönde kontrol etmesine izin verir. Bu yönetim metodu özellikle araç izleme, sınır gözetleme ve diğer benzer görevlerde uygulanması açısından çok etkilidir.

Perspektif olarak, kameranın uçaktan gerçek zamanlı olarak HD TV (yüksek çözünürlüklü) kullanılarak uzaktan kayıt, yıldızların ışığında şimdiki zamanın gündüz rengiyle, geceleri ise siyah-gri-beyaz rengiyle video aktarımı vardır. Arazi kaydı, ek yerleşik elektronikler tarafından desteklenir. Hareket ve tırmanma işlevleri, otomatik arazi takibi ve yörünge kaydı için sistemler tarafından etkinleştirilir. Gelişmiş otopilot yönetim modlarındaki en son eklemelerden biri de "yolumu takip et" özelliğidir. Bu yeni yönetim modu ile İHA, hareket eden bir hedefi takip etmek yerine o hedefin izlediği yolu takip eder böylece aynı sabit engellerle çarpışmalardan kaçınır. Basitçe söylemek gerekirse, böyle bir otopilota sahip bir İHA, önündeki hareket eden bir hedefin takip ettiği gibi, yol üzerindeki engellerle çarpışmalardan kaçınır, çünkü zaten ilerleyerek onlardan kaçınmıştır.



Şekil 69. İHA için Laud sistemi

Otopilot kullanırken, görev parametrelerini dahili olarak ayarlamak için herhangi bir insan müdahalesi gerekmez. Tipik otopilot işlevleri şunları içerir: kalkış, tırmanış, uçuş manevrası yöntemleri ve türleri, ara noktalar arasında yörünge izleme, navigasyon, alçalma, iniş, sensör analizi, telemetri, karar verme ve yerleşik uçuş bilgisayar yazılımı aracılığıyla görev davranışı. Yerleşik uçuş bilgisayarı IMU aracılığıyla İnternet'e ve İnternet'ten yapılan haritalama, Google Haritalar ve Android sistemli bir cep telefonu kullanılarak görüntülenebilir. Fotoğraf ve resimlerle raporlama ilgi çekici noktaları bulma ve hareketli hedefleri izlemeyi içerir.



Şekil 70. Dönen otomatik pilot

Sensör bilgilerinin füzyonu ve entegrasyonu ile elde edilen veriler, drone sisteminin ihtiyaçlarına yönelik önceliğe göre otomatik olarak birleştirilir. İletişim, birden fazla katılımcı arasında ve karşılıklı olarak eksik ve kusurlu veriler koşullarında bilgi aktarımı, komutlar ve koordinasyonun yönetimidir.



Şekil 71. Uzun mesafe gözetim kontrolü

Uçuş yörüngesinin belirlenmesi, tanımlanmış bir görev sırasında İHA için en uygun uçuş yolunun seçilmesi, aynı zamanda fiziksel engeller veya yakıt miktarı gibi belirli ani yükselmelerle karşılaşmalardan kaçınılması ve bu sırada kısıtlamalara uyulması seçimidir.

Yörünge kontrol üretimi, belirli bir yörüngeyi takip etmek için istenen manevra için en uygun kontrolün veya bir konumdan diğerine en uygun uçuşun belirlenmesidir. Yörünge hareketi standardı, insansız hava aracının yol üzerinde öngörülen boyut dahilinde (verilenden izin verilen sapma) sapmasının sınırlandırılmasıyla birlikte kontrol stratejisinin özel bir gerekliliğidir.

Görevlerin dağılımı, zaman ve mevcut ekipmanın sınırlamalarına bağlı olarak, grup içindeki katılımcılar arasında optimal olarak bölünmez.

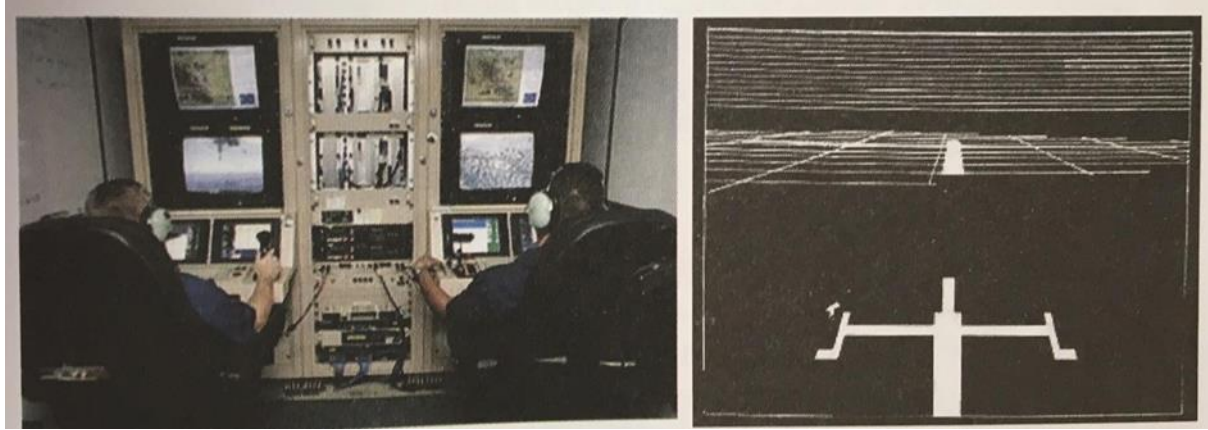
Müşterek Taktikler, tüm görevde genel etkinliği ve sonuçları artırmak amacıyla, katılımcılar arasında en uygun taktik sıraların ve faaliyetlerin mekansal düzenlemesinin seçilmesidir.

Genel anlamda, otonomi genellikle insan müdahalesi olmadan karar verme yeteneği olarak tanımlanır. Bu anlamda, otonominin amacı, İHA'nın "akıllı" olmayı "öğrenmesi" ve bir insan tarafından kontrol edildiğindeki gibi davranmasıdır. Bu otonomi, yapay zekâ, uzman sistemler, sinir ağları, makine öğrenimi, robotik ve görme alanındaki gelişmelerle ilişkilendirilebilir.

Ancak otonomi alanındaki teknolojik gelişme yolunu çoğunlukla hiyerarşik yönetim sistemleri gibi aşağıdan yukarıya bir yaklaşım izlemiştir. Son sonuçlar büyük ölçüde kontrol teorisi (otomasyon) alanındaki deneyime dayanmaktadır ve bilgisayar alanındaki deneyim daha azdır. Buna göre otonomi, öncelikle kontrol teorisi, otomasyon, robotik ve yapay zekâ yoluyla daha da gelişmeye devam edecektir.

İHA otonomi teknolojilerinin geliştirilmesi, mümkün olduğunca uçak kontrolünde zorunlu bir katılımcı olarak insan pilotun yerini almaya çalışır. Otonomi teknolojisinin gelecekteki gelişiminin, belirli İHA uygulamalarında kullanımını çevreleyen siyasi iklim tarafından kısıtlanıp kısıtlanmayacağı henüz öngörülememektedir.

Sonuç olarak, pilotluk için yapay görüş, bir insan pilotun seviyesine ulaşamaz sadece yaklaşabilir. NASA, 1980'lerin başında HiMAT programında sentetik vizyonlar kullandı. Daha yüksek seviyeli bir otopilot olan İHA uçuş otonomisinin tanıtılması, yapay görme kullanımını önemli ölçüde azaltır.



Şekil 72. sol: İHA kontrol istasyonu; sağda: HiMAT uçağının ekranları ve uzak sentetik kabini

3.9 İHA Otonom Uçuş Araştırma ve Geliştirme Projesi

Prag'daki Çek Üniversitesi'nde otonom insansız hava araçları için bir otopilot projesi geliştirildi. Bu gelişme, bu zorlu teknolojiyi ilgili kullanıcılara daha yakın hale getirme arzusuyla hayata geçirilmiştir.

Projede, ağa bağlı hiyerarşik olarak dağıtılmış kontrol sistemleri tanıtılarak donanım ve yazılım yapıları ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Küçük bir İHA'nın matematiksel modeli sunulmuş ve bir Kalman filtresi kullanarak durumu belirleme ve tahmin etme metodolojisi ele alınmıştır. Kontrol algoritmaları karmaşık bir hiyerarşik otopilot projesi de dahil olmak üzere İHA'ya odaklanarak, orantılı integral kontrol (PI), döngüdeki kuantum yerçekimi (Loop Quantum Gravity LQG) ve Riccati denkleminin sayısal çözümü (duruma bağlı Ricatti denklemi SDRE) yaklaşımına dayalı olarak önerilmiştir. Uçuş komutunun tüm içeriğinin bu blokları (veya düğümleri) bir elektrik ağı (Kontrolör Alan Ağı, CAN) ile birbirine bağlanır. Deneysel İHA testi sırasında ölçülen gerçek veriler sunulmaktadır.

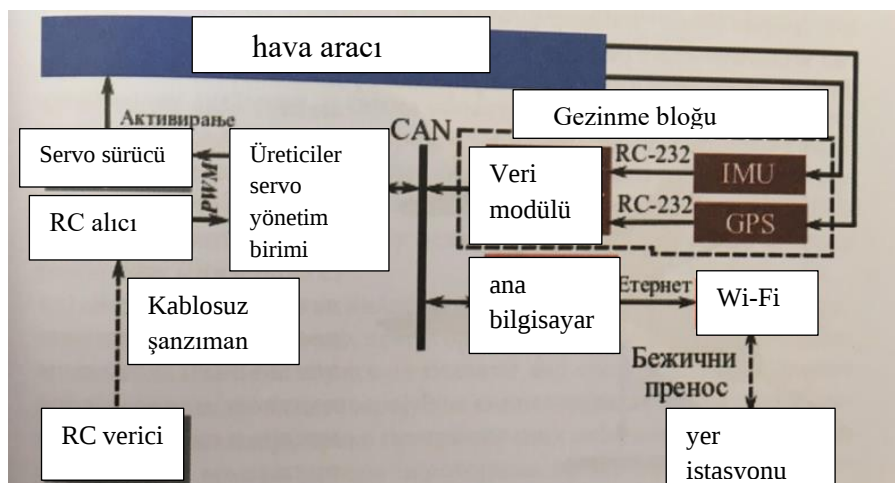
Geniş askeri uygulamanın yanı sıra, İHA'lar birçok ticari alanda mevcuttur. Uçuş laboratuvarları, kontrol algoritmaları nesneleri veya eğitim ve öğrenci tatbikatları için bir araç olarak kullanılabilmeleri nedeniyle akademik araştırmalar için çok ilgi çekicidir. Sonuç olarak, en mükemmel İHA otopilotlarını geliştirmek amacıyla hem ticari hem de bilimsel amaçlarla İHA kontrol sistemlerine ve ilgili birçok projeye artan bir talep olduğu görülmektedir. Halihazırda birçok etkileyici sonuç elde edilmiştir ve birçok İHA zaten az da olsa otonom uçuş özelliğine sahiptir. Solo uçuş modunun çeşitli senaryolarını kullanırlar.

Otopilot projesi açısından, İHA büyük bir meydan okumadır. Donanım tasarımı, sensörler, ölçüm, ağ programlama vb. disiplinlerden matematiksel modelleme ve kontrol teorisi, yapay zeka, robotik, görüntü ve sinyal işlemeye kadar disiplinleri içeren çok karmaşık, çok disiplinli bir süreçtir. Bu nedenle, nispeten yeni bir alan olduğundan ve hala yeterince araştırılmamış ve geliştirilmemiş olduğundan bu süreç çeşitli alanlardan pek çok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Ayrıca geliştirme ve yeni yaklaşımlar için hala pek çok fırsat vardır.

Wi-Fi iletişimi, yalnızca telemetri ve uzaktan sistem izleme için kullanıldığından İHA için çok kritik değildir. Otopilot komutları (çalışma modunun otomatik/manuel geçişi ve komutlar için istenen değerler), çok daha güvenilir ve çok daha geniş bir menzile sahip olan model RC sistemi aracılığıyla gönderilir. Gelecekte, Wi-Fi bağlantısının yerini daha iyi bir sistem alacaktır. Geliştirme sürecini hızlandırmak için bilinçli olarak geçici olarak kullanılır. Hava aracının mevcut konumu gibi kontrol girdi verileri, bir eylemsizlik birimi (IMU) ve bir küresel konumlandırma sistemi içeren bir navigasyon bloğu tarafından sağlanır.

Şimdiye kadar uçağın eğim açıları ivme ölçülerek belirlenmiştir. Eylemsizlik yüklerinin neden olduğu ivme, uçağın eksenine paralel olarak üç bileşene ayrılabilir. Bu bileşenler bir ivmeölçer ile ölçülür ve açısal hız entegre edilerek açısal değer belirlenir. Bu yöntemin dezavantajı, ivmeölçerlerin ölçtüğü şeyin sadece uçağın ivmesi değil aynı zamanda yerçekimi ivmesi “g” olmasıdır. Elde edilen bu değerler birbiri üzerine bindirilir. Uçak ivmeleri, bir düşük geçiş filtresi kullanılarak çıkarılabilir, ancak bu, bir sistem işlem gecikmesine neden olur, yani komut sinyali sistem yanıt gecikmesini artırır.

İlk matematiksel modelleme için, durum vektörü bileşenlerinin seçilen iyi bilinen modeline göre uçuş kontrolörü tanımları yeterlidir: $[u, v, w, p, q, r, \Theta, \varphi, \beta_1c, \beta_1s]$, burada u, v, w uçağın hız bileşenleridir, p, q, r eksenler etrafındaki açısal hızlardır, $[\beta_1c, \beta_1s]$ itki rotorlarıyla ilgili parametrelerdir. (Varyant onlarla birlikteyse)



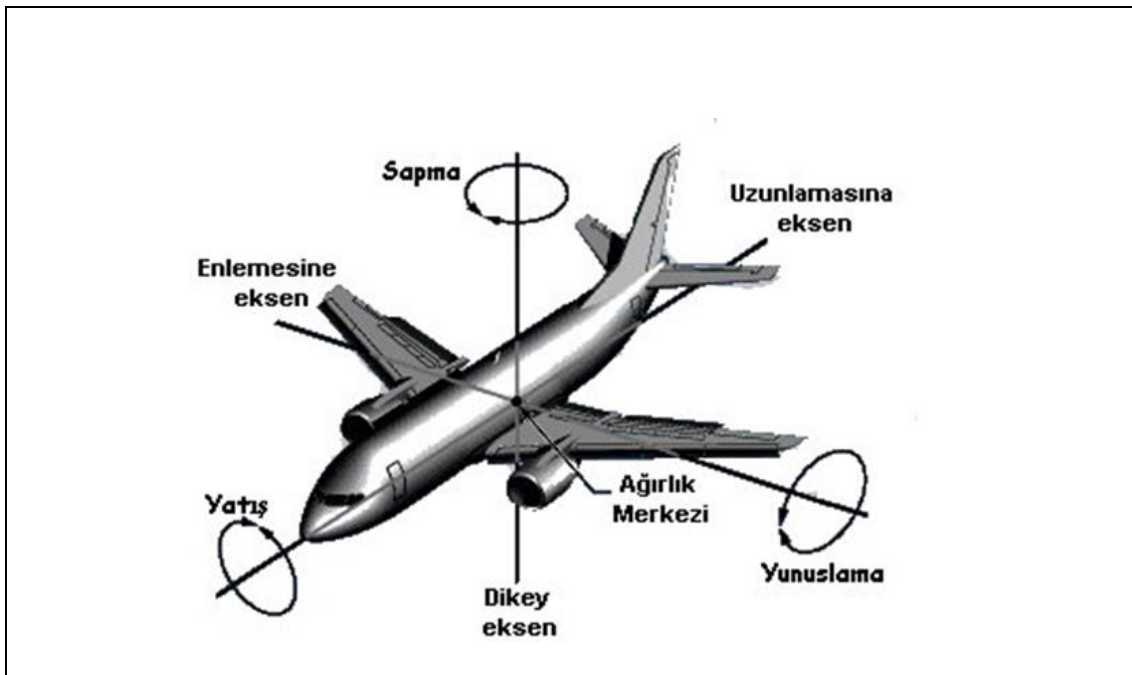
Şekil 73. Otonom kontrol sisteminin blok diyagramı

3.10 İHA Klasik Aerodinamik Şemaları

İHA klasik aerodinamik şemaları temelde doğal olarak stabildir. Bunlar, kaldırma yüzeyleri, sabit bir kanat ve çoğunlukla boylamasına ve yanal olarak stabilize eden yatay ve dikey kuyruk yüzeylerine sahip hava araçlarıdır. Bu dengeleyici kaldırma yüzeylerinde, uçuş kontrollerinin dönen yüzeyleri, koordinat sisteminin üç ekseninin etrafına yerleştirilmiştir. Öncelikle, deneyimle güvenilirliği kanıtlanmış kontrol döngülerinin analizi ve sentezi için doğrusal teknikler kullanılır. Sistem durum vektörünün içeriği, pilotlu hava taşıtındakiyle aynı şekle sahiptir (aynı veya benzer aerodinamik şemalar). Gelişmiş savaş İHA'ları, beşinci nesil insanlı savaş uçakları ile benzer kriterlere göre geliştirilmektedir. Öncelikleri görünürlüğü en aza indirmektir. Bu, gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıyla elde edilir:

- ✂ Radar ışınlarını yansıtmayan kompozit malzemeler uygulanarak;
- ✂ "İslatılmış" yüzeylerin ısıma yansımalarını en aza indirerek, bunları karmaşık hesaplama algoritmaları ile optimum şekilde şekillendirirerek;
- ✂ Gizli hava girişi, motor egzozu ve silahlar kullanarak (gövde kısmında).

Bu gereksinimler için, çoğunlukla sözde aerodinamik şema kullanılır. Amerikan düşük görüşlü bombardıman uçağı B-2 ekolüne (Northrop Grumman B-2 Spirit) göre modellenen "Uçan kanat". Bu kavramsal çözümlerin tipik örnekleri, bu kitabın ayrı bir bölümünde kaleme alınan Avrupa deneysel İHA Nöronu ve Rus Ohotnik'tir. Aerodinamik bir "uçan kanat" şemasının; kuyruk yüzeyleri yoktur, gövdenin arkasında gizli bir vantuz bulunur (pilotlu bir uçağın kokpitinin yerine), motor jetlerinin gizli egzozu ve gövdedeki "sığınaklarda" gizli silahları vardır.



Şekil 74. Kontrol eksenleri

"Uçan kanat" konfigürasyonunun, minimum radar yansıması (minimum radar kesit alanı) için "ıslanan" yüzeylerin tasarımının verimli entegre optimizasyonunu sağlamasının yanı sıra, başka avantajları da vardır. Gerekli mukavemet ve katılık için daha az kütleye sahip olarak gerilmiş yapının inşasını kolaylaştırır.

Ayrıca, destekleyici yapının (daha basit aletler) inşası için kompozit malzeme teknolojisinin daha verimli uygulanmasını kolaylaştırarak yakıt ve silahların depolanması için daha geniş iç alan sağlar.

"Uçan kanat" konfigürasyonunda, uçak kanadının yerel kırılganlığı daha uzundur, bu da süpersonik uçuşta daha az aerodinamik dalga direncine katkıda bulunur.

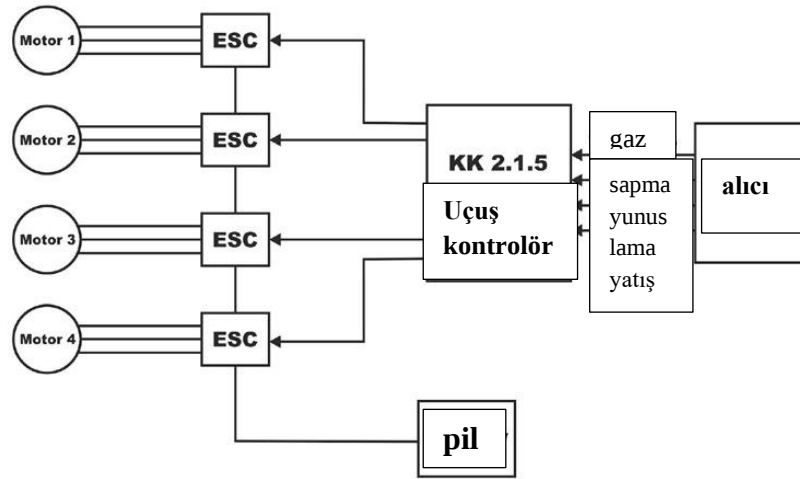
Kokpitin kurulu olduğu yerde bulunan gizli giriş, termal kızılötesi sensörlerin motor parçalarının ısınmasını ve etrafındaki yapıyı İHA giriş kanalı aracılığıyla "görmesini" engeller

Uçağın radar dalgalarını emen yapısını yapmak için kompozit malzemelerin kullanılması, radar bölümünün alanını azaltmıştır. Karbon fiber esaslı kompozitlerin verimli bir şekilde uygulanmasına ek olarak, son zamanlarda daha verimli nanokompozitler kullanılmaktadır. Nanokompozit malzeme sayesinde yapılar aynı güç ve sertlikte ancak çok daha hafiftirler. F-35 Lightning II, yapısının birçok parçası nanokompozitlerden yapılmış ilk uçaktır. Bu teknolojinin gelişmiş İHA'lara da uygulanacağı düşünülmektedir.

3.11 Dört Rotorlu İHA (Quadrotor)

Quadrotor, insanlı hava aracından tamamen farklı olan özel bir aerodinamik ve yapıcı konfigürasyondur. Geleneksel olarak küçük ve hafif İHA'lar için kullanılırken, son zamanlarda daha büyük boyutlu İHA'lar için daha sık kullanılmaktadır. İnsan faaliyetinin tüm alanlarında geniş uygulama olanaklarına sahiptir. Klasik uçak konfigürasyonlarından daha esnektir ve daha çeşitli olanaklara sahiptir. Bu konfigürasyona doğal stabilite sağlamak mümkün olmasa da, nispeten ucuz tüketici cihazların yardımıyla yapay olarak başarılı bir şekilde elde edilir.

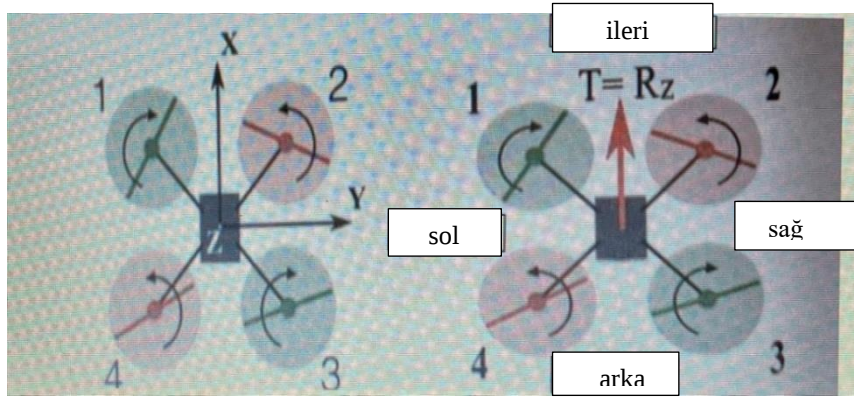
Quadrotor konfigürasyonu, kullanıcının gönderdiği sinyale göre ileri, geri, sağa, sola, yukarı, aşağı hareket edebilir ve uzun süre havada asılı kalabilme imkânı sağlar. Bu zorlu operasyonlar, özel sofistike algoritmalarla göre, rotorlu dört motorun çalışma modlarının programlanmış karşılıklı kombinasyonları aracılığıyla, daha uygun bir uçuş komutları konsepti ve bir stabilizasyon sistemi ile gerçekleştirilir.



Şekil 75. Uçuş kontrol algoritmaları

Gövde, çarpışma veya uygun olmayan (sert) iniş durumunda hasar görmeyecek kadar güçlüdür.

Gövde yapısının çevresine simetrik olarak dağıtılmış rotorlu dört motor, Şekil 55 ve 56'da gösterildiği gibi quadrotor'u çalıştırır. Aşağıdaki çizimlerde, rotorlar dairesel yüzeyler olarak ve dönüş yönleri kemerli oklarla gösterilmektedir. Bir ve üç numaralı motorlar, rotorları saat yönünde döndürür (üstten görünüm). Rotorlu iki ve dördüncü motorlar saat yönünün tersine döner (Şekil 57, 58, 60 ve 61). Her motor, rotorla bağlantılı olarak itme kuvveti (kaldırma kuvveti) ve algoritmik yeniden dağılımı ile bireysel yoğunluk üretir. Rotorlarla (2 + 2) bağlantılı olarak eşleştirilmiş motorların simetrik olarak zıt dönüş yönü nedeniyle, Z ekseninde üretilen toplam torku iptal edilir. Bu, rotorun dönmesi nedeniyle uçağın gövdesine iletilen indüklenen torku devre dışı bırakmak için ek bir çözüm getirme ihtiyacını ortadan kaldırır. Klasik bir helikopterde bu durum, daha küçük bir kuyruk rotoru tarafından devreden çıkarılır.



Şekil 76. İHA'nın hareket yönü

Dikey kaldırma kuvveti, rotorları aynı çalışma modunda olan tüm motorların dönüş hızlarındaki koordineli bir artışla oluşturulur. Toplam kaldırma kuvveti yerçekimi kuvvetlerini aştığında, quadrotor yerden kalkar ve istenen (komuta edilen) yüksekliğe tırmanır.

Bu, rotor 3 ve 4'ün (arka, yeşil) dönüş hızını artırarak ve 1 ve 2'nin (ön, pembe) dönüş hızını azaltarak elde edilir. Yeniden dağıtılan bireysel kuvvetlerin toplamı olan toplam kaldırma kuvveti, uçağın ağırlığına eşittir, böylece quadrotor irtifayı değiştirmeden uçuşu uzatır.

Arka rotorlardan biri saat yönünde, diğeri saat yönünün tersine döner. Bireysel olarak artan torklar, Z eksenini etrafında ters yöndedir ve her iki rotorun dönüşündeki aynı artışla, birbirleriyle aynı kalırlar ve nötrlenirler. Aynı şey İHA ön rotorları için de geçerlidir. Uçuş (ileri hareket), arka İHA rotorlarının toplam itme kuvvetinin ön rotorların toplamından daha yüksek olması nedeniyle, rotorun ileri eğiminden dolayı elde edilen sürüklenme kuvveti bileşeni temelinde gerçekleşir. Bu şekilde, toplam itme kuvveti, İHA'yı ileri doğru hareket ettirmek için kaldırma bileşenini ve sürüklenme kuvveti bileşenini alır. Bu uzunlamasına eğim ile İHA, yön değiştirmeden (dönüş açısı ψ değişmez), toplam kaldırma kuvveti değişmeden ve yükseklik değişmeden düz bir çizgide uçar.

Tüm rotorlarda, eşleştirilmiş rotorların eşit itme kuvvetinin başlangıç koşulunu korurken, toplam dikey kaldırma kuvvetinin komuta edilen yatay uçuş koşulu için İHA'nın ağırlığına eşit kalması için itme kuvveti otomatik olarak ayrı ayrı ayarlanır.

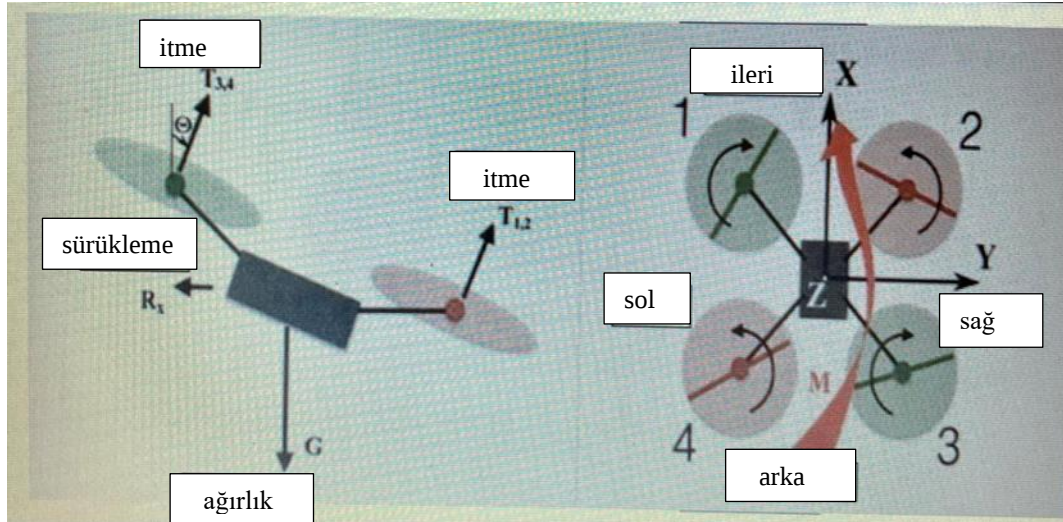
Bu uçuş modunda aşağıdaki koşullar karşılanır:

$$\Psi=0 \rightarrow T_3=T_4 \text{ ve } T_1=T_2$$

$$\theta=\text{const} \rightarrow (T_3+T_4)>(T_2+T_1)$$

$$G=R_z$$

$$R_z=(T_1+T_2+T_3+T_4)\cos \theta \cdot R_x=(T_1+T_2+T_3+T_4)\sin \theta$$



Şekil 77. İHA'nın hareket yönü

Elde edilen uzunlamasına tırmanma/dalma momenti M , quadrotorun X uzunlamasına eksenine boyunca (Y eksenine etrafında) bir Θ açısı kadar eğimine neden olur. Bu, kırmızı bir yay uzunlamasına okla gösterilir.

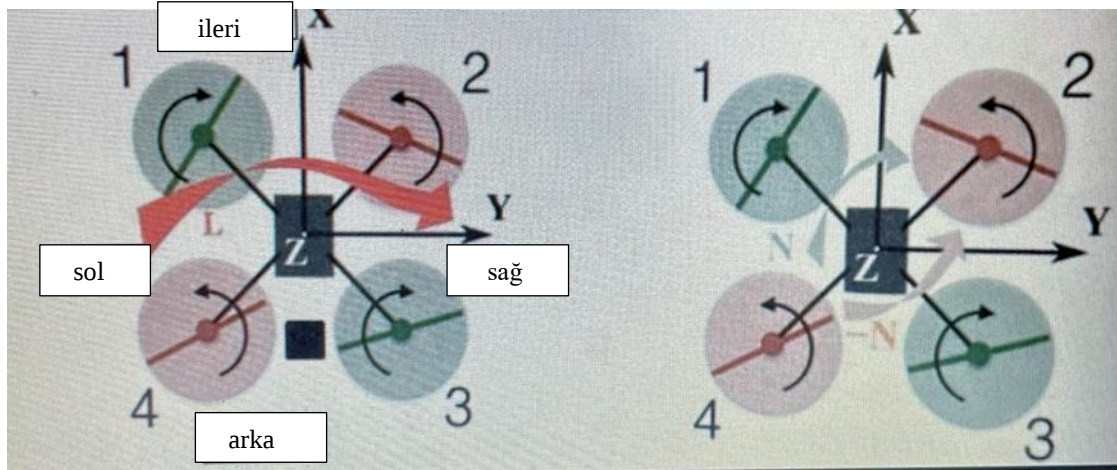
Quadrotorun φ açısındaki enine eğim koşulu: $(T_1 + T_4) > (T_2 + T_3)$. Sağ motorlar yavaşlar ve sol motorlar hızlanır, sol motorlar (1 ve 4) ve sağ motorlar (2 ve 3) üzerindeki rotorlar tarafından üretilen toplam kaldırma kuvvetleri arasındaki fark bir yuvarlanma momenti L oluşturur. Bu an, quadrotorun kırmızı yay okuyla gösterilen sağa doğru eğilmesine neden olur. Bu şekilde, φ açısı için uzunlamasına X eksenine etrafında quadrotorun enine eğimi elde edilir. İHA yatay uçuşu için toplam kaldırma, havada asılı kalma koşullarının yerine getirilmesiyle aynı kalır: $G = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$. Çoğu helikopterin yalnızca bir ana rotoru vardır ve ardından tersine çevrilmesi gereken tork oluşur. Helikopterlerde bu sorun, uçağın ağırlık merkezinden (kuyruk kısmı) yeterli bir kol üzerine yanal olarak yerleştirilmiş küçük bir kuyruk rotoru ile çözülür.



Şekil 78. M210 sistemi İHA hoparlörü

Quadrotor durumunda, uçağın gövdesine etki eden indüklenen momentin iptali sorunu, ters dönüş yönüne sahip (2 + 2) rotorlara sahip eşleştirilmiş motorların bir kombinasyonu ile sistematik olarak çözülür. Bu teknik aynı zamanda, rotorun farklı dönüş hızlarını belirleyerek, ve bu momentlerin dengesizliğini yönlendirerek dört rotorlu yönü kontrol etmek için de kullanılır. Daha hızlı dönen rotorlar, uçağın gövdesine iletilen daha büyük bir momente neden olur ve bu da quadrotor'u Ψ açısı kadar döndüren Z eksenine etrafında bir N momentine neden olur. Quadrotorun Ψ açısı kadar dönüşü, daha yüksek hızlı eşleştirilmiş rotorların dönüş yönündedir. Bu, iki eşleştirilmiş rotorun (1 ile 3) hızının artırılması/azaltılması ve diğer iki rotorlu motorun (2 ile 4) yeterince düşürülmesi/arttırılması yoluyla elde edilir. Rotor hızında böyle bir değişiklik, quadrotorun sağa/sola dönmesine neden olur (Şekil 62). Aynı şekil, Z eksenine etrafındaki N momentlerini göstermektedir. 1. ve 3. rotorların neden olduğu moment yeşil renkle ve 2. ve 4. rotorların neden olduğu moment kırmızı ile işaretlenmiştir.

Bu momentler eşitlendiğinde herhangi bir sapma olmaz; yeşil rotorlar daha hızlı döndüğünde, quadrotorun sağa dönmesine neden olan daha yüksek bir tork oluşur ve diğer rotor çifti daha hızlı döndüğünde (2 ve 4), quadrotor sola döner.

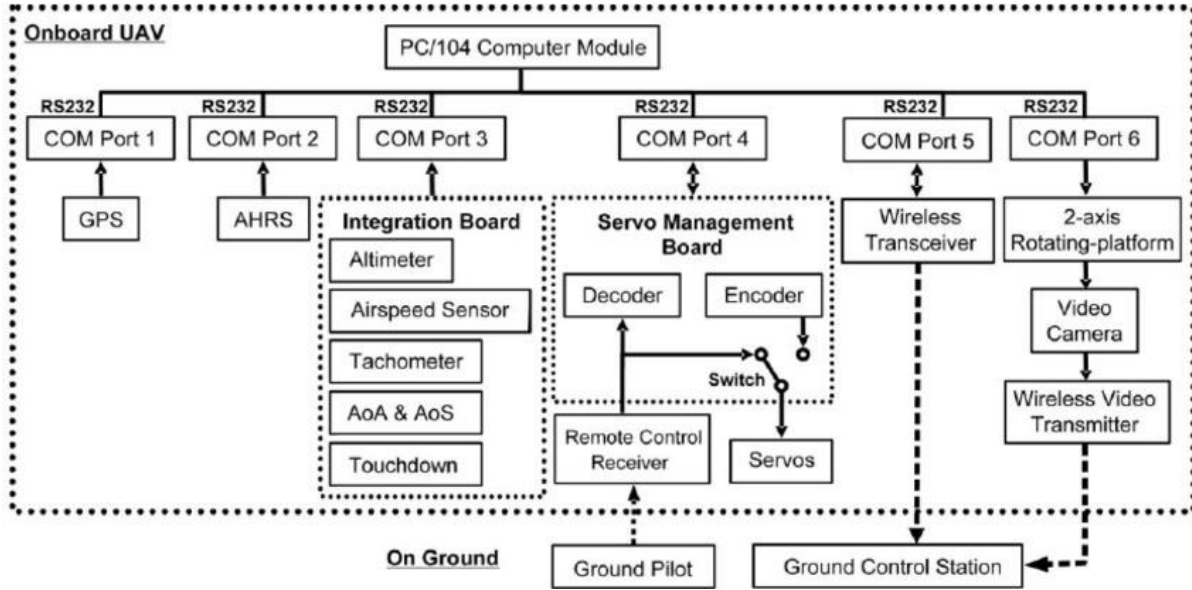


Şekil 79. Enine tork (yuvarlanma), Dönme momenti

Rotor kolunun kanat çırpma dinamiği ve kanat çırpma açısında miller etrafındaki momentin korunması Fourier serisi kullanılarak yaklaşık olarak belirlenebilir. Kanat çırpma açısı, aerodinamik ve merkezkaç momenti ile anlık sertlik arasındaki denge ile belirlenir. Ek olarak, kanat çırpma dinamikleri, sabit değerleri için ifadeler kullanılarak basitleştirilmiş, kabul edilebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Daha sonra, tüm nesnenin ters yönde dönen rotorların toplamı ile (toprağın etkisi olmadan) dikkate alınması gerekir. Stabilizasyon, rotor disklerinin eğim olgusuyla geliştirilmiştir. Bu olay, ileri uçuş sırasında ön rotorların kollarının arkadakilere göre daha fazla dönmesiyle oluşur.

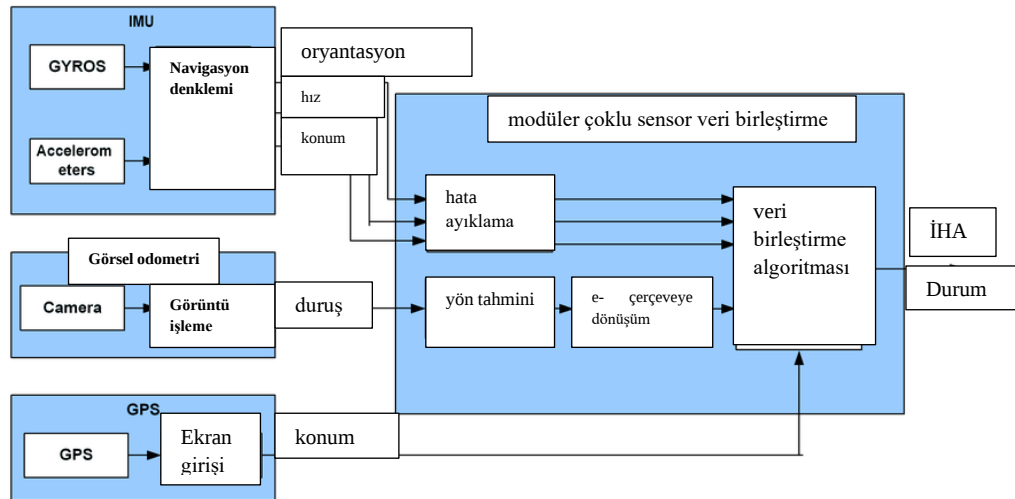
Farklı şekil ve uçuş aşamalarının seçimi için verici mimarisi havada durma, kalkış, iniş, aşamalı uçuştur. Varsayılan olarak, örn. kullanıcı, kontrol cihazının ekranına dokunmadığında İHA havada asılı uçuş moduna geçer, burada irtifa sabit tutulur, uçağın konumunda herhangi bir değişiklik olmaz ve açısal hızı sıfırda sabitlenir.

Uçak, ekrana çift tıklanarak iniş moduna geçirilir, hız artırma/azaltma ve açısal dönüş hızı için ayar noktaları belirlenir (ekran dokunmatiktir).



Şekil 80. Yer kontrol istasyonu

Kontrol, hareket hızı, yükseklik ve açısal hız ile kapalı döngüler aracılığıyla gerçekleşir. Döngüler, ayarlanan ve gerçekleşen değerler arasındaki farkı belirler ve sıfıra indirir. Fark iptal edilirken kullanıcının istediği uçuş modu kurulur. Açısal hız, orantılı integral kontrol (PI) ile izlenir.



Şekil 81. Veri birleştirme ve İHA yönetim mimarisi, quadrotor

Uçuş modunda, pilot (operatör) konum değerini ayarlar. Havada süzülürken, ayarlanan durum değeri sıfırdır, ancak uçuş modundan havada süzölmeye geçiş, durumu sıfır hız, sıfır irtifa değişikliği ile ayarlayarak ve havada asılı kalma modunda kontrol döngüsünü otomatik olarak koruyan ve sağlayan drone'nun bu durumunu koruyarak gerçekleştirilir. Bir mod değişikliği için planlama, pilot aşamalı moddan veya başka bir mevcut uçuş modundan ayrıldığında, quadrotor hızının mevcut durumundan başlar.

Geçici modlar oluşturma tekniği, sıfır hız ve değişmeyen konum modu kısa bir süre için (aşırı hareketler olmaksızın) kesintiye uğrayacak ve ileri hareket kontrolünün durdurulması durumunda buna ters çevirme eşlik edecek şekilde dikkatli bir şekilde tasarlanmıştır.

Boyuna hıza ve karşılık gelen eğim açısına Θ , referans sinyali $\Theta_{ref}(t)$ odaklanarak, $u = -g * \Theta - S_x$ dinamiklerinin tersi hesaplanır, burada S_x , aerodinamik sürüklenme katsayısı bir saniyedir.

$$\frac{\theta(s)}{\theta_{ref}(s)} = \frac{K}{\frac{s^2}{w_0^2} + \frac{2\xi s}{w_0} + 1}$$

Yaklaşma hızı	Açık gövde	Kapalı gövde
$U_0 < 3 \text{ m s}^{-1}$	1,5s	1,5s
$3 < U_0 < 6 \text{ m s}^{-1}$	1.0s	2,2s
$U_0 > 6 \text{ m s}^{-1}$	1,5s	2,4 s

Şekil 82. Farklı önceki (ilk) hızlar için durma süresi

Rotorlu kaldırma ve stabilizasyon aerodinamik yüzeyleri olmayan uçaklar çok yönlüdür. Karmaşık manevralar yaparak çok alçak irtifalarda dikey kalkış, iniş, havada süzülme ve uçuşa kabiliyetine sahiptirler.

Bu özellikler onları gözetleme, devriye, arama ve kurtarma gibi çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Öte yandan, doğrusal olmamaları ve dinamik bağlantıları, uzmanların ilgisini çeken uçuş kontrolleri ve kararlılık çözümlerinin tasarımcıları için bir meydan okuma oluşturuyor. Bu uçak kategorisi için otonom uçuş sağlamak için birçok kontrol tekniği uygulanmıştır. Son zamanlarda, model öngörülü kontrol (MPC) yöntemi, insansız hava araçları için potansiyel bir uygulama yöntemi olarak kabul edilmiştir.

MPC'nin tahmin özelliği, İHA uygulamaları için, özellikle yönetim performansını iyileştirmek için gelecekteki bir referans değerinin dikkate alınabileceği yörünge izlemede uygun bir stratejidir. Temel olarak, MPC algoritmalarının uygulanmasındaki prosedür, optimizasyon problemlerinin formülasyonunu çözmektir. Doğrusal olmayan bir sistem için, MPC tekniği genellikle optimizasyon probleminin sayısal olarak çok sık tekrarlanmasını gerektirir. Veri örnekleri genellikle zaman içinde alınır, bu da bilgisayarın yüksek iş yükü ve düşük bant genişliği nedeniyle gerçek zamanlı olarak uygulanmasını zorlaştırır. Bunun sonucunda azalan bilgisayar çıktısı ve artan gecikme, sabit kaldırma ve stabilizasyon yüzeyleri olmayan rotorcraft gibi son derece yüksek dinamiklere sahip işletim sistemleri için yüksek gereksinimlerin karşılanmasını zorlaştırır. Düzenleyicilerin yerel doğrusal geri bildirimine (eşleştirme) dayalı izleme sorunlarını çözmek için üst düzey IAS ilkesinin uygulandığı yalnızca birkaç yönetim uygulaması bildirilmiştir. Formüle edilmiş doğrusal olmayan optimizasyon problemini çözmek, ek bir ikincil daha güçlü uçuş bilgisayarının kullanımını gerektirir.

MPC yöntemiyle doğrusal olmamanın analitik çözümü, İnternet optimizasyonu olmadan formüle edilebilen bir sonuç kapalı döngü düzenleyici uygulamasında da bulunabilir. MRC algoritmasının bu şekilde kullanılmasının avantajı, yalnızca ağ optimizasyonunun ve kaynakların genişletilmesinin ortadan kaldırılması değil, aynı zamanda bu uçak kategorisinin uçuşu için çok önemli olan kontrol alanının daha geniş olmasıdır. Mühendislik açısından, bu kategorideki küçük İHA'ların otonom uçuşu konusunda pratik sorunlar vardır. MPC tabanlı kontrol performansının büyük ölçüde kaliteli matematiksel modellemeye bağlı olduğu bilinmektedir.

Bununla birlikte, özellikle rotor sisteminin karmaşık aerodinamik yapısı nedeniyle, bu kategorideki küçük uçakların yüksek hassasiyetli modellemesini başarmak zordur. Öte yandan, yapının küçük kütlesi, uçağın küçük boyutları nedeniyle, herhangi bir etkene, özellikle rüzgara karşı çok hassastırlar. Cevap, matematiksel olarak modellemesi kolay olmayan büyük bozulmalar alanında yatmaktadır. Daha büyük uçaklardan farklı olarak bunlar, yükteki değişikliklere ve gövdedeki dağılıma karşı çok hassastır. Ek yük ve güç tüketimi, küçük İHA'lar için çok önemli bir sorundur.

4. İHA'nın sınıflandırılması, Amacı ve Kullanımı

Yüksekliğe bağlı olarak, Parc Aberporth İnsansız Sistemler gibi endüstri faaliyetlerinde aşağıdaki İHA sınıflandırmaları kullanılmıştır.

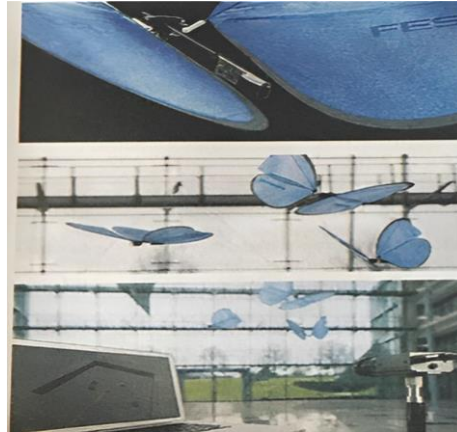
- ✂ Hand-Held = 2.000 ft (600 m) rakım, yaklaşık 2 km menzil
- ✂ Close = 5.000 ft (1.500 m) rakım, 10 km menzile kadar
- ✂ NATO tipi = 10.000 ft (3.000 m) rakım, 50 km menzile kadar
- ✂ Taktik = 18.000 ft (5.500 m) rakım, yaklaşık 160 km menzil
- ✂ MALE (orta irtifa, uzun dayanıklılık) = 30.000 ft'e (9.000 m) kadar ve 200 km'nin üzerinde menzil
- ✂ HALE (yüksek irtifa, uzun dayanıklılık) = 30.000 fitin (9.100 m) üzerinde ve belirsiz menzil
- ✂ Hipersonik yüksek hızlı, süpersonik = (Mach 1–5) veya hipersonik (Mach 5+) 50.000 ft (15.200 m) veya yörünge altı irtifa, 200 km'nin üzerinde menzil
- ✂ Yörünge = 1 düşük Dünya yörüngesi (Mach 25+)
- ✂ CIS = Ay Dünya-Ay transferi
- ✂ İHA'lar için Bilgisayar Destekli Taşıyıcı Güdüm Sistemi (CACGS)

İHA temel olarak, askeri ve sivil kullanım için gruplara ayrılmıştır.

Askeri amaçlar için şu anda mevcut en modern teknolojilere dayalı sistemlerle donatıldıkları varsayılsa da en basit sivil İHA kategorisindeki hobi amaçlı olanlar bile askeri görevlerde kullanılabilir.

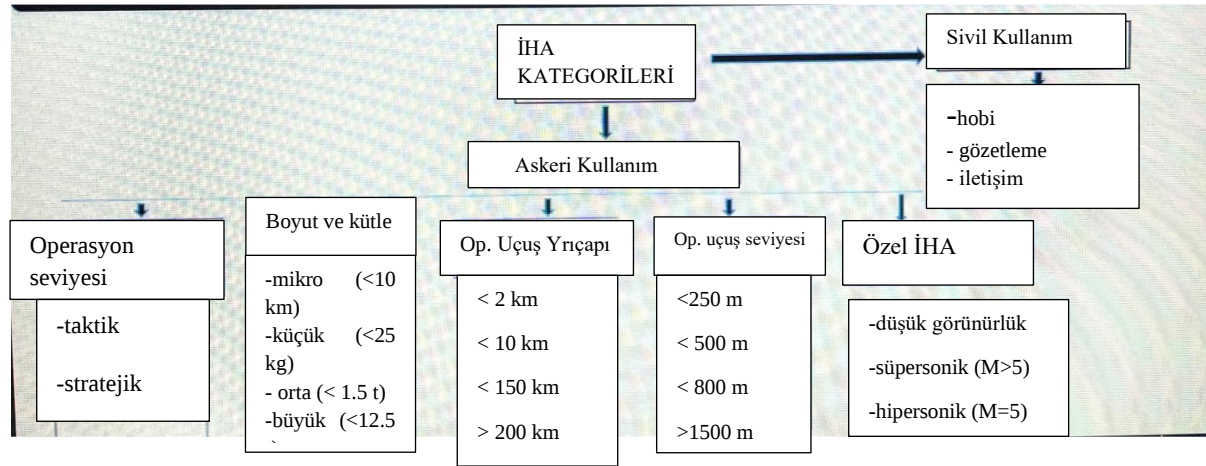
Sınıfı	Kategorisi	Görev Yüksekliği (ft)	Görev Yarıçapı (km)	Sivil Kategori	Örnek Platform
Sınıf I (150 kg.dan hafif)	Mikro (<2 kg)	<200 (AGL)	5 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg)	Black Widow 
	Mini (2<20 kg)	<3.000 (AGL)	25 (LOS)		Bayraktar, Scan Eagle 
	Midi (>20 kg)	<5.000 (AGL)	50 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20><150 kg)	Hermes 90 
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	<10.000 (AGL)	200 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg)	Çaldıran, Karayel, Aerostar 
Sınıf III (600 kg.dan ağır)	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE)	<45.000 (MSL)	Limitsiz (BLOS)		ANKA, Heron, Predator, Reaper 
	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE)	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Global Hawk 
	Darbe / Muharebe	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Phantom Ray 

Şekil 83. NATO İHA kategorileri



Şekil 84. Mikro İHA

İHA'nın birkaç temel özelliğe dayalı kategorilere göre sınıflandırılması 7'de gösterilmektedir. Ancak bu sınıflandırma kesin kriterlere göre pek mümkün değildir. Bu aslında belirli görevlerde kullanımlarını planlama sürecinde daha kolay iletişim için yapılmış bir sınıflandırmadır. İHA sınıflandırma sistemi, havacılık, askeri ve sivil görevlerinde genel kullanım planındaki rolleri nedeniyle ABD askeri operatörleri tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 86. İHA'nın kategorilere göre küresel sınıflandırma şeması

4.1 Menzil ve Uçuş İrtifasına Göre İHA Kategorileri

- ✂ 600 m'ye kadar uçuş yüksekliği ve yaklaşık 2 km menzil.
- ✂ 1.500 m yüksekliğe ve 10 km menzile kadar sınırlı alan.
- ✂ NATO tipi, 3.000 m'ye kadar uçuş irtifası ve 50 km'ye kadar menzil.
- ✂ Taktiksel İHA, 5.500 m'ye kadar uçuş irtifası ve 160 km'ye kadar menzil.
- ✂ Orta irtifa uzun dayanıklılık (MALE), 9.000 m'ye kadar uçuş irtifası ve 200 km'nin üzerinde menzil.
- ✂ Yüksek irtifa (10.000 m üzeri), yüksek irtifa uzun dayanıklılık (HALE) ve sınırsız menzil.
- ✂ Süpersonik İHA (Mach sayısı 1-5), hipersonik (Mach sayısı 5+) ve uçuş irtifası 15.000 m veya yörünge altı irtifa, menzil 200 km'nin üzerinde.
- ✂ Alçak yörünge (Mach sayısı 25'tir)
- ✂ Dünya-Ay Transporter
- ✂ Bilgisayar Destekli Taşıyıcı Rehberlik Sistemi (CACGS).

Diğer kategoriler şunları içerir:

- ✂ Orta sınıf askeri ve ticari İHA
- ✂ Birinci sınıf Özel Askeri İHA.
- ✂ Savaş İHA'sı, yüksek gizlilik.(SİHA)
- ✂ Sınıflandırılmamış hava araçlarına ait pilotlu ve pilotsuz alternatif seçenekler,

Hobi kullanımlı İHA'lar, ayrıca şu şekilde sınıflandırılabilir:

- ✂ Uçabilirler, ancak ticari kullanımları yoktur;
- ✂ Minimum uçuş bilgisi ile kullanılabilen çeşitli modeller;
- ✂ Kişisel tasarım ve bireysel uçuş eğitimi gerektiren İHA'lar - başarılı bir uygulama için geniş bilgi birikimi ve donanım gereklidir;
- ✂ Sadece gövde tasarımları- kapsamlı bilgi, kendi kurulum parçaları ve uçuş becerileri gerektirir. (kendin yap modelleri)

İHA'ların ağırlığa göre sınıflandırılması oldukça basittir:

- ✂ Mikro İHA'lar - 10 gr veya daha hafif olabilir. Bu İHA'lar, kuş boyutunun bir küçüğü olan böceklere benzer
- ✂ Minyatür İHA'lar yaklaşık 25 kg ağırlığa kadar;
- ✂ Ağır İHA'lar birkaç tona kadar

Gruplar	Kategoriler	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	Uçuş tavanı (m)	Uçuş otonomisi (h)	Sinyal menzili	Örnekler	
						Görevler	Hava aracı
Mikro/Mini	Mikro	0,10	250	1	<10	Bina içinde temas, gözlem	Black widow, Microstar, Microbat, Fan copter, Quatro-copter
	Mini	<30	150-300	<2	<10	Film ve sinema endüstrisi, tarım, kirlilik ölçümleri, bina içi gözetim, iletişim	Micado, Aladin, Tracker, Dragonet, Reven, Poenter, Carolo C40/P50, Scorpio, Maxmend, R-50, Robocopter, YH-300SL
Taktik	Kapalı menzil	150	3000	2-4	10-30	RSTA, mayın tespiti, arama ve kurtarma, EW	Observer 1, Fantom, Micado, Robocopter 300, Poenter, Cemocopter, Airijel, Agricultural RMax
	Kısa menzil	200	3000	3-6	30-70	BDA, RSTA, EW, detection of mine	Scorpi 6/30, Luna, silver Fox, I-vujv, Firebird, R-Max, agro-photography Hornet
	Orta menzil	150-300	3000-5000	6-10	70-200	BDA, RSTA, EW, mayın tespiti	Hunter B, Muki, Aerostar, Snajper, Falko, Armor X7, Smatr UAV, UCAR, Igl aj=alis, Extender
	Büyük menzil	-	5000	6-13	200-500	RSTA, BDA, iletişim rölesi	Hunter, Vigilant 502
	Büyük Otoriteler	500-1500	5000-8000	12-24	>500	BDA, RSTA, EW, iletişim rölesi, NBC	Aerosonde, Vulture II Her, Shadow 600, Searcher II, Hermes 450S/450T/700
	Orta boy, büyük otorite	1000-1500	5000-8000	24-48	>500	BDA, RSTA, EW, iletişim rölesi, NBC, silah teslimi	Skyfond, hermes 1500, Heron TP, MQ-1, Predator-IT, Igl-1/2, Darkstar, E-hunter, Dominator

Stratejik	Büyük tavan ve otorite	2500-12500				BDA, RSTA, EW, iletişim rölesi, uçağın durdurulması aşamasının uyarılması, havaalanının küresel güvenliği	Global houk, Raptor, Kondor, Desus, Helios, PredatorB/C, Libelule, Eurohouk, Mercator, Sensorcraft, Global observer, Patfinder plus
Özel	Ölümçül	250				Anti-radar; anti-gemi , uçaksavar; altyapı karşıtı	Mali, harpur, Lark, Marula
	Yem	250				Havada ve denizde aldatma görevleri	Flerd, MALD, Nulka, ITALD, Shuker
	Stratosfer için	-				-	Pegas
	Eko-stratosfer	-				-	Mars flyer, MAC-1

Şekil 87. 2006'daki İHA iniş kategorilerine ilişkin örnekler

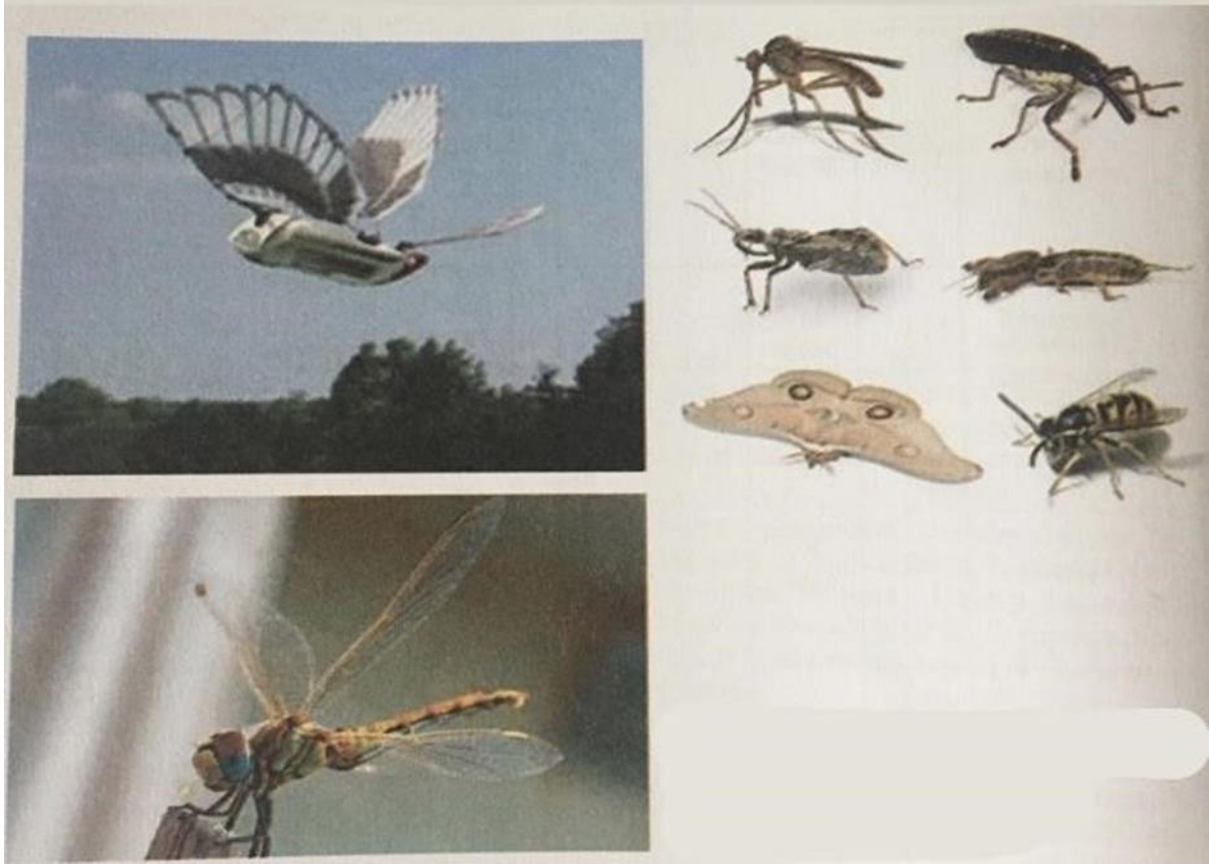
Kuşların ve böceklerin muazzam bir imitasyonu olan mikro İHA'lar özel bir ilgiyi hak etmektedir. Bu İHA'lar tasarlanırken biyomekanik bilgisi öne çıkmaktadır.

Uzmanlar, kuşların ve pek çok böceğin güçlü rüzgarlara karşı bilinmeyen bir direnç ile başarılı bir şekilde uçmalarıyla çok ilgilenmişlerdir. Bu tür canlılar çok küçük olmalarına rağmen zorlu koşullarda bile rahatlıkla uçabilirler. Ancak onlarla kıyaslanamayacak kadar büyük kütlelere sahip olan yolcu uçakları ise, bu tür hava koşullarında zorunlu iniş yapmak zorunda kalırlar.

Bu gözlemler uzmanları cesaretlendirdi ve 2015'te bu çalışmaya biyomekanik adı verilen belirgin bir bilimsel alanda organize ve kurumsal bir şekilde yaklaştılar. Bu amaçla, kuş ve böceklerin yaşamlarını ve belirli şekillerde uçuşlarını araştırmak için özel İHA'lar tasarlandı.

Bu İHA'lardan birinin tasarımında yusufçuğun uçuşundan ilham alınmıştır. Yusufçuğun, uçuş sırasında ve güçlü rüzgarlarda sabit kalmasını sağlayan dört kanadı vardır.

Mikro İHA'nın itme ve kaldırma kuvveti için çırpınan kanatların alışılmadık kullanımı nedeniyle gizli proje zor bir görevi. Kanatlar pervaneden daha etkili olmasına ve şiddetli rüzgarlarda havada süzülmeyi sağlamasına rağmen, mühendislerin yapay olarak, kalıcı çözümlerle, yusufluğun kanat işlevini gerçekleştirmesi neredeyse imkansızdı.



Şekil 88. Mikro İHA'lar genellikle kuş ve çeşitli böcekler şeklindedir.

Ancak, nihayet daha güçlü rüzgarlara dayanabilen bu mikro uçakları tasarlamayı başardılar. Günümüzde askerler tarafından düşman mevzilerini gözetlemek için kullanılırlar.

10 m/s rüzgâr hızında havada süzulebilen, kamera ve haberleşme sistemleri taşıyabilen mikro İHA hayata geçirilmiştir. 8 cm uzunluğundadır ve daha da geliştirilmesi için öncelikle boyutun küçültülmesine odaklanılmıştır.

Edinilen bilgiler biyomekanik kelebeklere uygulandı. Yapay böceklerin ultra hafif yapılarını ve karşılıklı koordinasyon sorununda edinilen bilgileri birleştirerek, kapalı alanda bir sürü halinde uçuşları gerçekleştirildi.

İç mekanlarda koordineli uçuş, GPS ve kızılötesi kameralar kullanılarak gerçekleştirilir. Koridora kurulu on kamera, kızılötesi işaretleyicilerini kullanarak kelebekleri kaydetmektedir. Kameralar, her bir kelebeğin uçuşunu ayrı ayrı koordine eden merkezi bir bilgisayara kendi konumlarıyla ilgili verileri iletir. Akıllı ağ sistemi, gelecekteki fabrikalarda ağ bağlantılı izleme ve yönetimde kullanılabilecek bir yönlendirme ve izleme sistemi oluşturur.

Doğal deseni mümkün olduğu kadar özgün bir şekilde taklit etmek için yapay kelebekler, son derece entegre yerleşik elektroniklerle karakterize edilir. Kanatları bireysel olarak hassas bir şekilde etkinleştirebilir, hareketin şeklini ve hızını süratle değiştirebilirler. Kanatları sallamak, doğal bir kelebeğin kendine özgü aerodinamiğinin taklidi sayesinde aerodinamik kaldırma kuvveti yaratır.

Bu şekilde, minimum malzemeyle yüksek düzeyde entegre uçuş araçları elde edildi. Minyatürleştirme, hafif yapı ve fonksiyonel entegrasyon alanında bir adım daha atıldı. Bu uçaklar kullanılan akıllı sistemlerle, sınırlı bir alanda mümkün olan en az güç kaynakları ve birimleri göz doldurmaktadır. Minimum malzeme kullanımıyla, doğal bir kelebeğin gerçek uçuşuna dayalı uçuşlar gerçekleştirildi.

4.2 Dronelerin Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı

“ *Drone, uzaktan kumandalı insansız hava aracı (İHA) veya füzedir.*” - Oxford Amerikan Sözlüğü'nün tanımı

Sivil insansız hava araçları şunlardan oluşur:

- ✂ Uzaktan kumandalı uçak;
- ✂ İnsan unsuru;
- ✂ Kalkış ve iniş;
- ✂ Yük;
- ✂ Komuta ve kontrol;
- ✂ Veri iletimi için iletişim bağlantısı.

Diğer uçaklar gibi dronlar da başlangıçta askeri amaçlarla kullanıldı (güvenli bir mesafeden bombalama eylemleri, lojistik yardım, gözetleme eylemleri).

Günümüzde dronelar daha çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Dronlar askeri uygulamaların yanı sıra sivil amaçlarla da kullanılmaktadır - arama kurtarma operasyonları, karayolu trafik gözetleme, sınır gözetleme, tarım faaliyetleri, hizmet faaliyetleri ve eğlence.

4.2.1 Askeri Amaçlar İçin Dron Kullanımı

İnsan hayatının tehlikede olduğu durumlarda, bir kişinin yerini alabildiklerinden dronlar ordu için çok yararlıdır. İHA'lar, ağırlıklarına, hızlarına ve belirli yeteneklerine göre orduda sınıflandırılır.

Belirli askeri operasyonlarda amaçlanan belirli rollere dayalı sınıflandırma:

- ✂ Yem veya hedef olarak kullanılan dronlar (zemini izlemek ve düşman hedeflerine yönelik hava saldırıları için kullanılır);

- ✂ Keşif dronları (savaş alanı hakkında bilgi sağlamak için kullanılır);
- ✂ Savaş dronları (riskli durumlarda saldırmak için kullanılır);
- ✂ Araştırma ve geliştirme için dronlar (mevcut dron sistemine eklenebilecek teknolojileri geliştirmek için kullanılır).

Drone'ları askeri amaçlar için kullanılma durumları:

- ✂ mayın tespiti;
- ✂ kimyasal ve nükleer silahların tespiti;
- ✂ radar paraziti;
- ✂ hedef aydınlatma;
- ✂ savaş kargosu taşıma



Şekil 89. Global Hawk'ın gözetleme için kullandığı en büyük askeri insansız hava aracı

İHA'ların askeri kullanımının etkisi, Portekizli yazar tarafından İHA'ların Sınıflandırılması makalesindeki giriş alıntısıyla net bir şekilde özetleniyor:

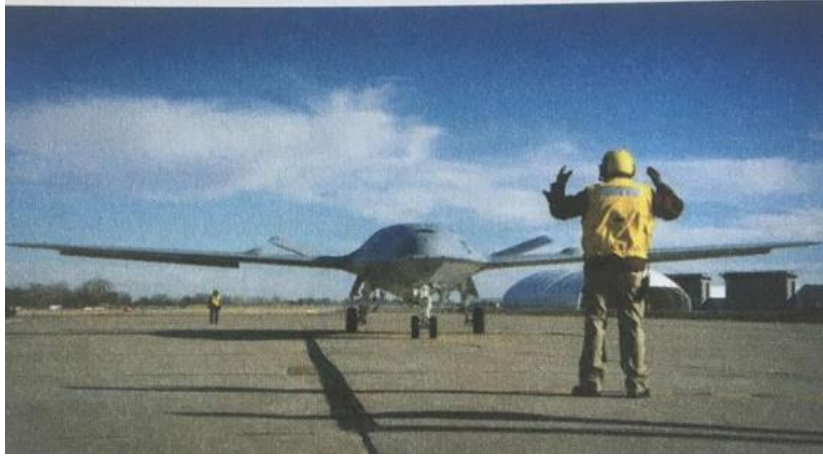
Kendinizi, bir noktadan diğerine manevra yapmak ve hareket etmek için gerçekten ikna edici tek bir hedefle bir savaş alanının ortasında hayal edin ve kendi hayatta kalma motivasyonunuzla görevinizi gerçekleştirin. Bir gözünüz sürekli tehditlere, diğeri mekansal yönelime odaklanır! Gerginlik ve derin korku sizi ele geçiriyor, ölümcül bir tehlike içindesiniz ve bunun üstesinden gelip onunla yüzleşmeniz gerekiyor. Bu sizin önceliğiniz ve hayatta kalma şansınız. Yönelimli bir anten olan İHA ile, yaşamınız tehdit edilmeden doğrudan savaş alanında yapabileceğinizden daha fazlasını güvenle yapabilir misiniz?

MARIA DE FATIMA BENTO

İnsansız hava araçları, hafif gözetleme cihazlarından ağır silahlı insansız hava araçlarına hızla evrildi ve böylece modifiye bir savaş biçimini yürütmek için tercih edilen bir silah haline geldi.

Binlerce askeri insansız hava aracının büyük çoğunluğu gözetleme amacıyla kullanılıyor ve askeri uzmanlar bunun yoğun bir şekilde devam edeceğini tahmin ediyor.

Askeri analistler, önümüzdeki 10 yıl içinde dünya çapında 80.000'den fazla gözetleme uçağının ve yaklaşık 2.000 silahlı savaş aracının satın alınacağını tahmin ediyor. Silahlı insansız hava araçları ucuz değildir. Uzmanlar, bu teknolojinin ilk birim fiyatının 15 milyon dolar civarında olduğunu, ek ihtiyaçlar ve ek donanımlar devreye girdiğinde bu fiyatın daha da arttığını iddia ediyor. Bakım ve mürettebatın eğitimine ek olarak, onlara hizmet verecek profesyonel ekiplere ihtiyaç vardır.



Şekil 90. Boeing'in MQ-25A'sı, uçuş sırasında uçağa yakıt ikmali yapan ilk insansız hava aracıdır.

İnsansız hava araçlarının standart askeri teçhizatın bir parçası haline gelmesi, dünya ordularında uygun harekât birimleri, üsler, test istasyonları, tamir atölyeleri, uygun altyapı ve bakım sistemleri ağının genişlemesine neden olmuştur.

Washington, D.C.'deki Stratejik ve Bütçe Değerlendirme Merkezi tarafından yapılan bir araştırma, ABD hava birimlerinin oluşumlarının elektronik savaş ve füze savunması için donatılmış yalnızca 20 insanlı savaş uçağı ve 24 insansız hava aracından oluşan bir yapıya dönüştürülmesini tavsiye ediyor. Bu araştırma, ünlü Air and Space dergisi tarafından yayınlanmıştır.

Tanınmış Amerikan havacılık uzmanları ve analistleri ciddi ciddi jet pilotlu uçakların sonunun geldiğini iddia ediyor. Bunların yerini hızla daha rasyonel insansız hava araçları alıyor.



Şekil 91. Askeri amaçlı Predator

ABD Donanması'nın yakıt tankeri uçaklarının insansız uçaklara dönüştürülmesi çalışmaları halihazırda devam ediyor ve kargo uçaklarına uçuş sırasında yakıt doldurmayı amaçlayan yenileri inşa ediliyor. Libya, Ukrayna, Suriye ve Yemen savaş alanlarının yanı sıra Basra Körfezi ve Doğu Çin Denizi gibi jeopolitik çatışma bölgelerinde, farklı boyut ve gelişmişlik seviyelerine sahip İHA'ların konuşlandırılmasından ve kullanılmasından kaynaklanan kalabalıklar arttı. İHA'lar ister istihbarat toplamak ve düşman hava kuvvetlerine saldırmak, hava sahasında üstünlük için savaşmak, topçu ateşini düzeltmek ister elektronik harp için kullanılsın, savaşın karakterini önemli ölçüde değiştirecektir. Silahlı, yıkıcı eylemlerde kullanılma eğilimi, önceki uygulamalara kıyasla, SFRY'nin ve diğer birçok ülkenin yanı sıra dünyanın Arap bölgesinin saldırganlığı ve parçalanması sırasında yoğun bir şekilde devam etti. Drone savaşı alışılmadık ve düzensizdir, bu savaşta mutlak karşıt taraflar olmayabilir. Bu, durum “silahların nispeten düşük fiyatlarla kolayca erişilebilir olmasındandır. Konvansiyonel savaş nedenleri, karşıt devletleri, karşıt tarafların her birine katılan bireysel askerleri içerir. İnsansız teknolojinin gelişmesiyle savaşın doğası çok değişmiştir, birçok nedenden dolayı savaş son derecede karmaşık hale gelmiştir.

Öncelikle, askeri insansız hava araçlarının kullanılması, insansız hava aracı operatörlerinin statüsünün belirsizleşmesine yol açmaktadır. Onlar savaşçı mıdır? Klasik askeri savaşlara katıldıklarında iki temel faktöre maruz kalmazlar: korku ve ölüm riski. İnsanların hedef olarak savaşa maruz kalmalarının büyük ölçüde artması ve dolayısıyla zarar görme riskinin artması ise paradoksaldır. Bu gerçekler nedeniyle, askerlerin savaş şövalyeliğinin son göstergesi kaybolmuştur. Konvansiyonel savaşta, her iki taraftaki savaşçılar fiziksel riske maruz kalır. Ölmek ve öldürmek arasında bir ayrım olmadığında savaş daha az özeldir.

İkincisi, tek taraflı fiziksel riskin olmaması siyasi alanı etkilemektedir. Libya gibi bir savaş bölgesinde Türkiye ve Katar'ın İHA'ları bölgeye konuşlandırması klasik savaş uçaklarının bölgeye konuşlandırılmasına kıyasla toplumsal ve siyasal açıdan daha az tepki çekebilir.

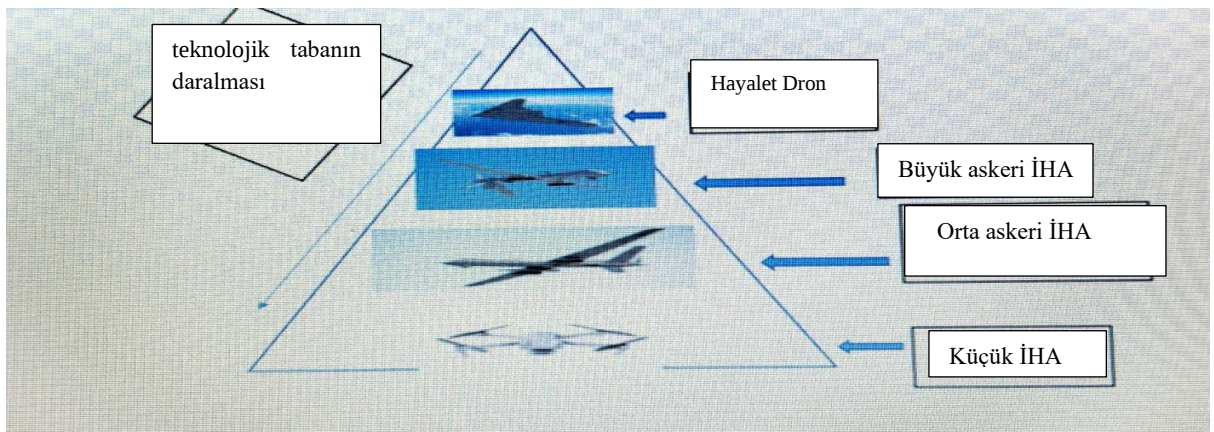
Başka bir deyişle, askeri insansız hava araçlarının kullanılması, savaş alanındaki olayların mantıksal bağlantısının nüanslarını azaltır. Libya'da, Nisan 2019'da işlenen suçlardan sonra drone saldırılarının sıklığı önemli ölçüde arttı ve bu, manipülasyon kolaylığı ile eylemden kaçınma arasındaki negatif korelasyonu doğruladı.

İnsansız hava aracı operatörleri, yetkinlikleri dahilinde dört eylem gerçekleştirir: izle, nişan al, karar ver ve ateş et. Bu, her drone saldırısında olur ve savaş alanını, oyuncunun sanal alanı saatlerce izlediği ve ardından hedef görüldüğünde joystick'i kullanarak ateş ettiği bir aksiyon oyununa dönüştürür. İnsan ve makineyi içeren bu döngü, savaş alanının kimliksizleştirildiğini göstermektedir. Sorumluluk sınırları bulanıklaştıkça, öldürmek daha uzaktan ve daha kolay hale geliyor.

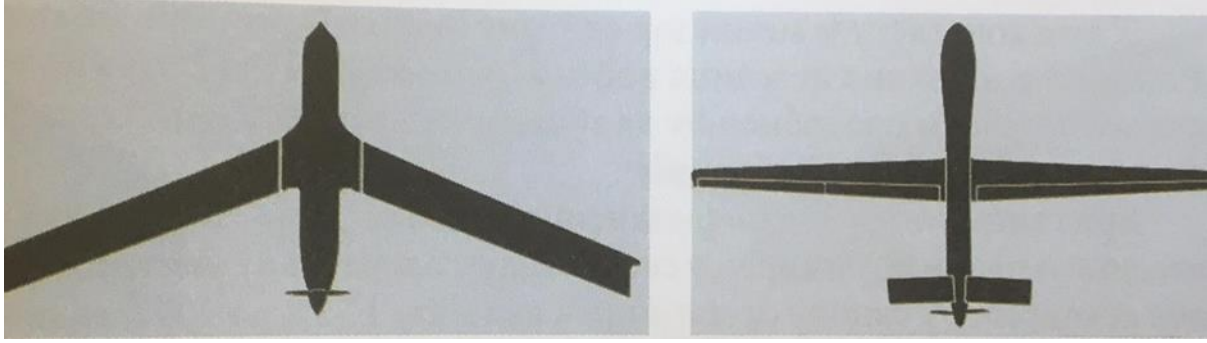
Portekizli yazar MARIA DE FATIMA BENTO, İHA'ların Sınıflandırılması (daha önceki bölümde alıntılanmıştır) adlı makalesinde, İHA'ların katıldığı savaşın doğasının bu yönlerini kesinlikle vurgulamamıştır. Dünyada 101 ülkede yedi bölgede uzmanlaşmış İHA silahlı grupları vardır: Asya, Okyanusya, Avrasya, Avrupa, Latin Amerika, Orta Doğu, Kuzey Afrika, Kuzey Amerika ve Sahra Altı Afrika. Şu anda dünyada 170'den fazla askeri insansız hava aracı kullanılmaktadır. Her ülkenin askeri insansız hava aracı kapasiteleri altı alanda değerlendirilir: envanter ve aktif satın alma içerikleri, personel ve eğitim programları, altyapı, operasyonel deneyim, ilgili teknolojilerin araştırma ve geliştirme programları.

Askeri amaçlı insansız hava araçları üç gruba ayrılabilir:

- ❧ Maliyetler veya zorlu altyapı ihtiyaçları nedeniyle bireylerin kullanımına açık olmayan orta ölçekli savaş ve ticari insansız hava araçları. Ancak bu sistemler yabancı ordulara ve özel kullanıcılara satılabilir veya devredilebilir;
- ❧ Büyük savaşlar için özel silahlı dronlar. Operasyonel kullanım için daha önemli askeri altyapıya ihtiyaçları vardır ve satın alınamazlar. Yalnızca profesyonel ordu grupları tarafından kullanılırlar.
- ❧ Stealth (hayalet) dronlar çok gelişmiş teknolojiler içerir ve operasyon esnasında görünürlükleri azaltılmıştır. Bu teknolojiler, askeri ve güvenlik kontrolü dışındaki üreticilerin kullanımına açık değildir. Birkaç ülke bu tür savaş dronlarını geliştirmektedir. Şu anda, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'ne aittir ve Amerika Birleşik Devletleri tarafından kullanılmaktadır.

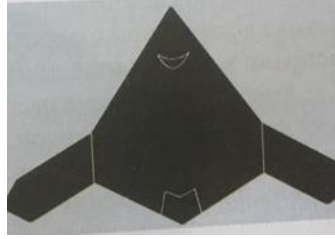


Şekil 92. Seri üretim ve İHA uygulamasının piramidal ilişkisinin şematik gösterimi



Şekil 93. Askeri ve ticari orta ölçekli İHA, Özel boyutlu büyük askeri İHA

İHA'ların muharebe kullanımının yeni taktiklerinin etkinliği yoğun bir şekilde ele alınmakta ve incelenmektedir. Yaklaşım, bir arı sürüsüne benzer bir gruptaki daha büyük ve daha ucuz İHA grubunun uçuşundan oluşur ve bu "sürünün" merkezinde, maksimum gelişmiş silahlara sahip ("kraliçe") beşinci nesil bir uçak bulunur.



Şekil 94. Yeni teknoloji İHA

Uçaksavar savunma sistemleri, bu düşük maliyetli insansız hava aracı "sürüsü" aracılığıyla ana uçağı hedef olarak seçemez ve ana uçak hedef bölgeye kolayca girerek planlanan görevi kolayca gerçekleştirebilir.



Şekil 95. İHA steline karşı Battle

Bu bağlamda Büyük Britanya Savunma Bakanı şöyle belirtmiştir: "F-35 uçaklarının önderlik ettiği insansız hava aracı sürüleri, düşmanın hava savunmasını şaşırtma ve alt etme yetenekleriyle düşmanları yenecektir."

İngilizler, insansız hava araçları "sürüsünün" gelişimini yoğun bir şekilde finanse ediyor ve 2022 yılına kadar filolarını F35 ana uçağının bir parçası olarak operasyonel kullanıma sokan ilk ülke olmayı planlıyor.

Ayrıca Amerika da, yetkililerin bu programı desteklemeye devam etmesi koşuluyla, İngiltere'nin dron "sürülerini" askeri operasyonlara entegre etmeyi başaran ilk ülke olacağını iddia ediyor.

Askeri uzmanların yıllardır söyledikleri doğrulanmıştır:

Senkronize Drone "sürülerini" mümkün kılan teknoloji, aslında bir bakış açısidir. Muharebe liderleri bu fikri kabul etmeye ve onu muharebe operasyonları planlarına dahil etmeye başlamıştır.

New America Foundation'da gelecekteki savaşları inceleyen kıdemli bir araştırmacı olan Peter Singer şunları söyledi: *"Bir zamanlar bilim kurgu ve saçmalık gibi görülen bu fikir, şimdi profesyonel ve bilimsel tartışmalarda yer almıştır ve giderek daha fazla kabul görüyor."*

Literatürdeki mevcut kaynaklara göre, Amerikalılar üç yıllık bir programla drone "sürüleri" filoları geliştireceklerini iddia ediyorlar.

Tek kullanımlık bir İHA araştırma ve geliştirme programı 2006'dan beri yürütülmektedir. Bunlar, kritik alanlarda çok sayıda konuşlandırılması gereken minyatür İHA'lardır. Bu dronların küçük elektronik sensörleri vardır ve gruplandırma sistemine, düşman bölgesine pilotları göndermeden riskli bölgelerin askeri gözetimini sağlayabilirler.

Deneysel program ayrıca, küçük insansız hava araçlarının S-130 nakliye uçağının gövdesinden fırlatılma yöntemini ve görevin o kısmını gerçekleştirdikten sonra aynı uçağın gövdesine geri dönme yöntemini de araştırıyor. Bu şekilde, bireysel nakliye uçakları verimli bir şekilde İHA uçak gemilerine dönüştürülmek isteniyor.

2016 yılında, Pentagon'un Savunma Bakanlığı'nın en önemli incelemelerinden biri olarak adlandırdığı bir otonom sistemler deneyi gerçekleştirdi. Sistem, F/A-18 süper hornet savaş uçaklarının gövdelerinden atılan 100 mikro İHA'dan oluşan daha büyük bir "sürü" anlamına gelir. Bu "sürü", doğadaki bir arı sürüsü gibi, bir beyni karar verme ve uyum sağlama için bölen "kolektif organizma" olarak tanımlanır.

Tanınmış bir ABD savunma sistemleri üreticisi, hava araçlarıyla iş birliği yaparak muharebe operasyonlarında kullanılması gereken İHA'lara yatırım yapıyor.



Şekil 96. XQ-222 Valkyries ve UTAP-22 Mako

San Diego merkezli şirket, yalnızca bu amaç için üretildiği söylenen UTAR-22 Mako ve XQ-222 Valkyries olmak üzere iki sınıf drone üretiyor. Şirket, ilgili Pentagon kurumlarından özel araştırmalar için fon almıştır.

ABD'li askeri uzmanlar, yapay zekâ kullanan bir silahın her kullanımının sorgulanması gerekeceğinin altını çiziyor. Bu, savaş robotlarının (İHA) hedeflerin hareketine ve seçimine kendilerinin karar verebileceklerini, ancak "tetiği çekmeye" daima insanların karar vereceği anlamına gelmektedir.

Yine de savaşın geleceğini inceleyen uzmanlar, "sürü" içindeki bazı insansız hava araçlarının kısmen veya tamamen otonom olması gerektiğini söylüyor.

"Sürü" fikrinin özü, İHA'ların yalnızca çok sayıda kopyasında değil, aynı zamanda bu kalabalığın koordineli bir şekilde çalışması ve birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunmasıdır. ABD Hava Kuvvetleri, insansız hava araçlarına (predators and rippers) pilotluk yapma konusunda geniş deneyime sahip olsa da, insansız hava aracı "sürülerinin" kullanılması yeni bir deneyimdir. Kişinin robot kütesini nasıl kontrol edebileceğini ve onlar üzerinde her zaman tam kontrole sahip olmasını ve görevleri tamamlaması gerektiğini anlamaları gerekiyor. Bu durum tartışmalıdır, yetkililer bu konuda tam olarak hemfikir değiller. Rusya, son yıllarda İHA teknolojileri kapsamında tüm kategorilerde ciddi anlamda araştırma geliştirme, üretim ve operasyonel faaliyetlere ağırlık vermiştir. Rusya'nın tanıtmayı planladığı İHA varyantları, Batı modellerinden daha farklı. Planlarında, hafif, orta ve yaklaşık 20 tonu bulan İHA "canavarları" varyasyonları var.

Moskova'da, Zafer Bayramı'nda, Mayıs 2018'deki geçit töreni sırasında, Rus ordusu operasyonel kullanıma giren ilk savaş dronlarını tanıttı. Bundan önce İHA'lar sadece keşif amaçlı kullanılıyordu.

Rus İHA'ları, klasik bir aerodinamik şema ve rotorlarla (aerodinamik kaldırma yüzeyleri olmadan) tasarlanmıştır. Karada ve denizde zırhlı muharebe araçlarının imhası için tasarlanmış "akıllı" ve klasik silahlarla donatılmışlardır.



Şekil 97. Rus İHA Orion E

Bu programlar içerisinde İHA Altair orta kategorisi yer almaktadır. Geliştirilme süreci 2011'de başladı. Gelişmiş güdümlü havadan yere füzeleri taşımak ve fırlatmak için pahalı bir uçuş platformudur. Görünürlüğü en aza indirmek için ileri teknoloji (stealth teknolojisi) kullanılarak modern ve etkili düşman hava savunma sistemlerinden korunmaktadır.

Keşif ve havadan yere operasyonlar için tasarlanmıştır. Uzun uçuş imkanı vardır ve ağırlığı yaklaşık 5000 kg'dır. Ohotnik, 20 ton ağırlığıyla Rus askeri-sanayi kompleksi tarafından geliştirilen en büyük İHA'dır. Sürekli olarak geliştirilebilmesi için açık konfigürasyon sistemi olarak tasarlanmıştır. Proje, drone teknolojilerindeki prestij yarışında Rusya'yı önemli ölçüde öne çıkaracak. Bu proje hakkında yayınlanan ayrıntılar yetersizdir ve güvenilir değildir. Gerçek veriler hala gizli tutuluyor. İlk uçuş 3 Ağustos 2019'da gerçekleştirildi. O zaman, Ohotnik, devlet deney merkezinin üzerinde, 600 metre yükseklikte yaklaşık 20 dakika uçtu.

Ohotnik'in geliştirilmesi sırasında, beşinci nesil bir Su-57 savaş uçağı "laboratuvar uçağı" olarak kullanıldı. Sofistike sistemler ve en son teknolojik çözümler üzerinde test edildi. Ohotnik'in beşinci nesil Su-57 savaş uçağının iş birliği ile düşman hava sahasını ve hava savunmasını başarıyla geçmesi planlanıyor. Beşinci nesil F-35'in "ana" uçağı ile arı sürüsüne benzer bir grupta İHA ile Batı ülkelerinin İHA'larının savaş kullanımının yeni taktiklerinde ve aynı nesil Su-57 Rus uçağı Ohotnik İHA ile bazı farklılıklar vardır. F-35 uçağı ile düşman hava sahasına girme taktiği bilinmektedir ve Ruslar hava sahası hakimiyetinin korunmasını arttırmıştır.



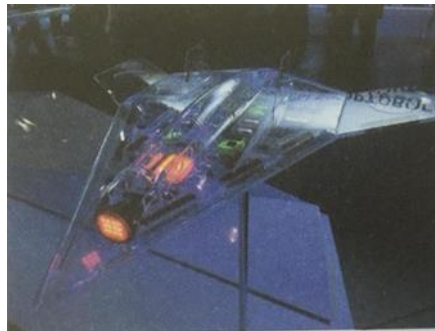
Şekil 98. Rus İHA Altay

Daha önce düzenlenen fuarların aksine, 2020'de "Ordu", çeşitli kategorilerdeki Rus insansız hava araçları önemli ölçüde daha fazlaydı. Çeşitli amaçlar için eksiksiz bir insansız hava aracı serisi gösterilmekteydi: Helios, Sirius ve Grom. Tüm bu tür İHA'lar, temel işlevlerinin yanı sıra savaş yeteneklerine ve imrenilecek özelliklere de sahiptir.

İHA tipi helikopter ilk kez gösterildi. Yeni Rus insansız helikopteri, potansiyel uygulama için gerçekten çok büyük bir alana sahiptir. Başlangıçta amaçlanan standart birincil arama ve kurtarma görevlerinden çok daha geniş bir görev yelpazesi gerçekleştirebilir. Daha sonraki evriminde, yüksek hassasiyetli silahlar ve diğer savaş sistemleriyle donanmış bir keşif-savaş versiyonu beklenebilir. İnsansız helikopter, 1.500 metre uçuş tavanına ve iki saatlik otonom uçuşa sahiptir. Çok amaçlı bir uçuş platformudur. Bir multispektral kamera, ardından bir gama radyasyon dozimetresi, bir minyatür radar ve bir manyetometrik sistem dahil olmak üzere çeşitli sensör türleri ile donatılabilir. Projektöre, ses donanımına ve kurtarma operasyonlarında kullanılmak üzere kurtarma ekipmanlarını taşımak için bir konteynere sahiptir.

Fuarda orta mesafelerde düşman İHA'larıyla mücadele etmek için tüm sistemler (Bastion-otomasyon), ardından kısa menzilli müdahale için modernize edilmiş bir sistem (Kupol-PRO) ve uzun mesafeli mücadele için bir mobil otomatik sistem (Rubež-otomasyon) de sunuldu.

İHA Saldırısı anti-sisteminin bir versiyonu da gösterildi. Bu İHA sistemi, bağımsız olarak, operatörün müdahalesi olmadan, şifreli "kendi/yabancı" tanıma ilkesine göre düşman insansız hava aracının yerini belirleyebilir ve ayrıca kendi hava sahasına daha fazla girmesini otomatik olarak engelleyebilir.



Şekil 99. İHA Avcısı içeriğinin gösterimi



Şekil 100. İlk Rus insansız helikopteri

Sistemin görevden savaş moduna geçiş süresi beş dakikayı geçmez. Sistem, 1.000 metrelik bir yarıçapı kapsayabilir ve bu hava sahası bölgesinde tüm kontrol kanallarını ve operatörlerle kontrol noktaları tarafından yaygın olarak kullanılan (2-6 GHz arası) radyo dalgalarının toplam frekans aralığını bloke edebilir. Bu tip uçaklar, çeşitli kargoların gözetimi ve nakliye operasyonları için başarıyla kullanılabilir. İHA Saldırısı, özellikleri ile "ebeveyn" uçak F-35 ile işbirliği içinde "sürü" İHA kullanma taktiklerinin etkinliğini nötr hale getirmek için kullanılabilir.

En eski ve muhtemelen en tartışmalı konu, kesinlikle dronların askeri amaçlarla kullanılmasıdır. İngiliz ve Amerikan orduları, 1940'ların başlarında düşmanı gözetlemek için bazı temel insansız hava araçlarını kullanmaya başladı. Ancak günümüz dronları elbette bunlardan çok daha gelişmiş durumda. Termal görüntüleme kameraları, lazer mesafe ölçerler ve ayrıca hava saldırıları gerçekleştirmek için cihazlarla donatılabilirler.

En ünlü modellerden biri olan MQ-9 Reaper, 11m uzunluğunda, 15km yüksekliğe kadar fark edilmeden kalabilen, füze ve istihbarat toplama ekipmanı kombinasyonu ile donatılmıştır.



Şekil 101. MQ-9 Reaper

MQ-9 Reaper, öncelikle dinamik hedefleri ortadan kaldırmak ve ardından istihbarat toplama aracı olarak kullanılan, orta irtifa uçuşu ve uzun uçuş süresine sahip, silahlı, çok görevli bir drondur. Bir hedefi bulmadan önce (loitering süresi) saatlerce bir daire içinde uçabilmesi nedeniyle, geniş menzilli sensörler, çok modlu iletişim sistemi ve ayrıca hassas silahlarla donatılmıştır. Bu dronun, istikrarsız ve zamana duyarlı hedeflerin saldırılarını, koordinasyonunu ve keşiflerini gerçekleştirmek için benzersiz bir yeteneği vardır. Reaper ayrıca; bilgi, gözetleme, keşif, yakın hava desteği, muharebe esnasında arama ve kurtarma, hassas saldırı, konvoy veya baskın gözetleme ve terminal hava rehberliği gibi görevleri de gerçekleştirebilir.

Drone MQ-9 Reaper'ın genel özellikleri:

- ✂ Uzunluk - 11m;
- ✂ Ağırlık- 3.8 m;
- ✂ Kanat açıklığı - 20.1m;
- ✂ Ağırlık - 2,223kg (boş);
- ✂ Maksimum kalkış ağırlığı- 4,760kg;
- ✂ Yük kapasitesi - 1,701 kg;
- ✂ Hız - 200 knots;
- ✂ Menzil - 1000 deniz mili;
- ✂ Dikey menzil - 15km;
- ✂ İtki - 900 beygirgücü;
- ✂ Honeywell TPE331-10GD turbo pervaneli motor;
- ✂ Silahlar - dört havadan karaya füze kombinasyonu - AGM-114 Hellfire, iki lazer güdümlü bomba - GBU-12 Paveway II, havadan havaya füzeler - AIM-92 Stinger - test aşamasında;

4.2.2 Tarım Alanında Dron Kullanımı

Ekonominin çeşitli alanlarında dronların pratik kullanımı giderek daha fazla yer almakta ve önemli gelişmeler kaydedilmektedir.

Tarım, insanlığın gezegende hayatta kalmasını sağlayan endüstrinin en önemli koludur.

Bu amaç için çeşitli drone türleri vardır ve görevlerinden bazıları şunlardır:

- ✂ Mahsul denetimi;
- ✂ Sulama;
- ✂ Mahsul sulamanın gözden geçirilmesi;
- ✂ Mahsule uygun zirai ilaçların püskürtülmesi;
- ✂ Ekim;
- ✂ Bitki sağlığı değerlendirmesi.

Dronlar, toprağı korumanın daha güvenli, daha verimli bir yoludur – maliyetleri düşürür ve zaman kazandırılır.

İnsansız hava araçları, çiftçilere olası sorunları tespit etmek ve bunları azaltmak için bilgi sağlar. Tarımsal amaçlı kullanılan insansız hava araçları, olumsuz hava koşullarına dayanıklıdır. Dronlar, geniş bilgi toplama (bitkilerin kalitesini tespit etme ve hastalıkları erken tespit etme) yeteneğine sahip belirli sensörlere sahiptir.



Şekil 102. Ziraî İHA

İnsansız hava araçları, vahşi dünyayı korumak için daha ucuz ve daha etkili bir alternatiftir. Yaban hayatı popülasyonunu yerden izlemek neredeyse imkansızdır, bu nedenle kuş bakışı izleme, vahşi yaşamı koruma bilim adamlarına, türlerin ve ekosistemlerinin sağlığı hakkında daha iyi bir fikir edinebilmek için Borneo'daki orangutanlardan Orta Kuzey Amerika'daki Great Plains bizonlarına kadar farklı hayvan gruplarını izleme olanağı tanır. Vahşi dünyanın korunması için insansız hava araçları, Asya ve Afrika'da kaçak avlanmaya karşı mücadelede de mükemmel bir araçtır. Öte yandan, dronlar genellikle daha önce yangınlardan etkilenen alanları yeniden ağaçlandırmak, tohum kaplarını, gübre ve besinleri bırakmak için kullanılır. 1990 yılından bu yana yaklaşık 300 milyon hektar alan bu şekilde yeniden ağaçlandırılmıştır.



Şekil 103. Hayvan dünyasının korunmasında İHA

Queensland'deki Teknoloji Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, geleneksel hayvan popülasyonu izleme tekniklerine kıyasla daha güvenilir ve daha az zarar veren bir teknik olan dronları ve kızılötesi görüntülemeyi kullanarak koala popülasyonlarını tespit etmek için yenilikçi bir yöntem geliştirdiler.

Scientific Reports dergisinde yayınlanan bir çalışmada bilim adamları, ısı algılayan dronları kullanarak koalaların yerini belirlemek için belirli bir algoritma içeren özel tekniği ayrıntılı olarak açıkladılar. Bu teknik, yalnızca koala popülasyonunun izlenmesi söz konusu olduğunda değil, aynı zamanda nesli tükenmekte olan diğer türlerin yanı sıra istilacı türleri tespit etme konusunda da inanılmaz bir potansiyele sahiptir.

Yani bu sistem, yoğun bir okaliptüs ağacı örtüsüyle kaplı olmasına rağmen koalanın ısı sinyallerini algılamak için kızılötesi görüntüleme kullanıyor. Araştırmacılar, bu tekniğin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için, koalanın vücut sıcaklığı ile çevre sıcaklık farkının daha fazla olduğu soğuk aylarda sabahın erken saatlerinde bölgeyi incelediler.

Uçuş sonrasında drondan alınan veriler, koalaların termal izlerini aynı bölgedeki diğer hayvanların termal izlerinden ayırt edebilecek şekilde tasarlanmış bir algoritma kullanılarak analiz ediliyor. Bu yöntem kesinlikle zeminden yapılan geleneksel analizden daha hızlı ve daha ucuzdur. Bununla birlikte, dronların erişemeyeceği alanlar da vardır ve bu nedenle insanın rolü tamamen göz ardı edilemez.

Dron kullanan bilim adamlarının elde ettiği mükemmel sonuçların ardından amaç, algoritmayı uyarlayarak, drone sistemini başka alanlarda da kullanmak böylece gelecekte başka bazı hayvan türlerinin tespit edilebilmesi ve dolayısıyla popülasyonlarının izlenebilmesidir.

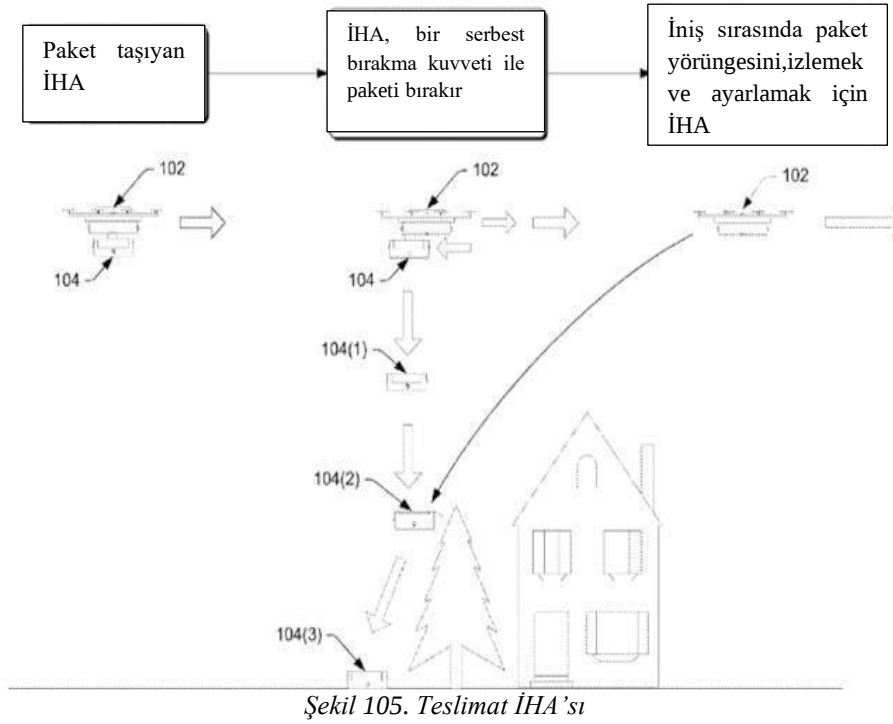
4.2.3 Teslimat

Drone teslimat teknolojisi hızla gelişiyor, ancak günlük hayatta kullanılmaya henüz tam olarak hazır değil. Amazon, Alphabet, Flirtey, bu teknolojiyi uygun maliyetli amaçlar için kullanma potansiyelini fark ettiler.

Amazon, bahçedeki "engellerle" çarpışma olasılığını azaltacak paraşütle teslimatlarla ilgili bir patent oluşturdu. Bu dronlar, düşürüldükten sonra paketi takip edebilir ve sapma durumunda basınçlı hava, bir iniş kanadı veya ikincil bir paraşüt kullanarak teslimat yönünü ayarlayabilir.



Şekil 104. Teslimat İHA'sı



Teslimat için kullanılan dronlar genellikle otonom insansız hava araçlarıdır ve gıda, paket ve çeşitli ürünleri kapınıza kadar taşımak için kullanılır. Bu dronlar aynı zamanda "son mil" teslimat dronları olarak da bilinir, çünkü bunlar yakındaki mağazalardan veya depolardan ürün teslim etmek için kullanılır. Perakende satış mağazaları ve gıda zincirleri, daha etkili bir teslimat alternatifi olarak giderek daha fazla insansız hava aracına yöneliyor. 55 kg'a kadar yük taşıyabilirler. Walmart, Google, FedEx, UPS ve diğer büyük markalar şu anda teslimat dronlarının farklı versiyonlarını test etmektedir.



Şekil 106. Teslimat İHA'sı

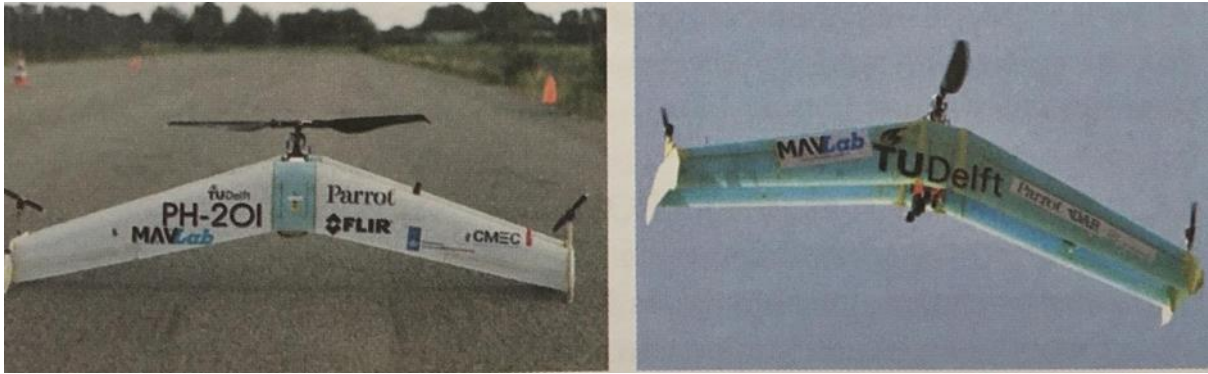
2019 yılında Asya e-ticaret devleri Rakuten ve JD.com, online alışverişe yönelik artan talebe yanıt olarak, paket tesliminde kullanılacak dronların ticarileştirilmesi alanında iş birliği yaptı.

Yani, Japonya merkezli Rakuten şirketi, Japonya'nın dağlık arazisinin ve uzak adaların dronları test etmek için ideal bir ortamı temsil ettiği otonom "son mil" teslimatlarını deneyerek son birkaç yılda teknolojik yenilikleri önceliği olarak belirledi.

Rakuten, bu amaçla 160 cm genişliğinde, 60 cm yüksekliğinde ve 16 km'ye kadar uçabilen bir JD.com drone kullanacak. Rakuten, bu insansız hava aracına ek olarak 171 cm uzunluğunda, 75 cm genişliğinde ve 160 cm yüksekliğinde, 15 km/s hıza ulaşabilen insansız kara aracını da kullanacak.

4.2.4 Küçük İHA'lar

Küçük İHA'lar çoğunlukla lityum polimer pillerle elektrikli itki kullanırken, daha büyük olanlar uçak motorlarıyla çalışır. İHA'nın boyutu ve kütlesi, itki tipi seçimi için temel koşuldur.



Şekil 107. Tek itki pervaneli İHA çift kanatlı konfigürasyonu



Şekil 108. Helios

Şu anda, lityum polimer pillerdeki enerji konsantrasyonu, benzininkinden çok daha düşüktür. Kuzey Atlantik Okyanusu üzerinden uçuş yapılarak rekor bir İHA menzili elde edilmiştir. Bu İHA balsa ve deriden yapılmıştır ve itki için benzinli bir motor kullanılmıştır.

Elektrik, daha basitleştirilmiş bir şekilde kullanılır ve elektrik motorları sessizdir. Pervaneyi veya rotoru hareket ettiren elektrikli veya benzinli bir motora sahip uçağın itme enerjisi ile kütlesi arasında doğru bir şekilde gerçekleştirilen ilişki, uçağın havada süzülmesini ve dikey olarak tırmanmasını sağlayabilir. Bir pil takma tertibatı, mikro regülatör tarafından enerjiyi merkezileştirerek ve tüm yoğaltıcılara dağıtarak gerçekleştirilir. Bu, daha fazla enerji tedarik ağı kurma ihtiyacını ortadan kaldırarak gereksiz yere ısıtılmış platforma ve fazla iletkenlere enerji kaybını azaltır. Pillerde ve uçak motorlarında biriken elektrikle elde edilen itkiye ek olarak, güneş enerjisinin elektrığe dönüştürülmesiyle elde edilen elektrikli itki giderek daha fazla araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Buna güzel bir örnek, pilleri uçuş sırasında güneş sisteminden elde edilen elektrikle şarj edilen insansız bir Helios uçağının deneysel tasarımıdır.

4.2.5 Sivil Amaçlı Kullanım

Hava değişikliklerini izleyerek bunlara karşı önleyici koruma hakkında bilgilendirmeye ve güvenlik hazırlıkları yapmaya artan bir eğilim görülmektedir. Hava koşulları izlenebilmekte ve sıcaklık, nem, ışık şiddeti vb. parametrelerdeki değişimler takip edilebilmektedir. Bu veriler, hava koşullarını incelemek, analiz etmek ve anlamak için faydalıdır. Quadrotor'lar bu amaç için çok pratik uçaklardır. Fırtına, yangın, sel, deprem gibi doğal afetlerden kaynaklanan hasarın değerlendirilmesinde keşif, gerçek zamanlı görüntü aktarımı ve durum kaydı yoluyla ilgili verileri toplamak için İHA'lar profesyonel olarak kullanılır. Pratik ve etkili kullanımları sayesinde bu rolde adeta vazgeçilmez hale geldiler. Nisan 2010'dan bu yana NASA, hava sahasında uzun süreli İHA'lar (otonom uçuş) kullanarak küresel atmosferik araştırmalar üzerinde çalışıyor. Bu amaçla İHA'lar, bilimsel araştırma ihtiyaçları için çok sayıda parametreyi ölçmek amacıyla kullanılan çeşitli sensörlerden oluşan ek paketler taşırlar. Ağustos ve Eylül 2010'de dronlar, Earl ve Frank kasırgaları hakkında çok sayıda bilgi topladı.

İHA ile havadan çekilen fotoğraflar kullanılarak araştırma, analiz ve değerlendirme için yararlı veriler toplanır ve ayrıca rüzgâr çiftliğinin yasallığı, gelişimi ve etkisinin yoğunluğunun elde edilmesi için kullanılır.

Mart 2011'de, Japonya'daki nükleer santralin deprem ve tsunamilerden aldığı hasarı değerlendirmek için Amerikan menşeli İHA Global Hawk Block 30 kullanıldı.

Aralık 2011'de, Deniz Çevresini Koruma Derneği, Japon denizlerinde İHA kullanımlı balina avcılığı tespit, izleme ve kontrolü sistemini kurdu.

İHA'ların sivil kullanımı teşvik edilmektedir. Çeşitli hizmetlerdeki uygulamalara ek olarak, İHA'lar polis gücünde, trafiğin kontrolü ve yeniden yönlendirilmesinde, soygun ve diğer suç eylemlerinin faillerinin izlenmesinde kullanılmak gibi toplumsal kullanım için tanıtılmaktadır. Bazı ülke parlamentoları, gizlilikten ödün verme riski olduğu için polis gücünde kullanımlara itiraz etmektedir. Ayrıca verilerin korunmasıyla ilgili endişeler de bulunmaktadır.



Şekil 109. Sekiz rotorlu İHA; Ticari İHA (quadcopter, DJI'nın Çin malı kamera ürünüdür)

Almanya'da, geniş bir izleme alanında meydana gelen yangınları tespit edebilecek bir İHA geliştirme programı yürütülmektedir. Tüm bölgenin izlenerek yangının hasarını ve sonuçlarını büyük ölçüde azaltacak bilgi toplanması planlanmaktadır. Veri iletimi entegre edilecek ve gerçek zamanlı olarak acil durum merkezlerine sunulacaktır.

2014 yılında İHA'lar en popüler yılbaşı hediyeleri arasında yer aldı. O kadar popüler ve büyük hediyeler ki, İngiliz yetkililer eğlence amaçlı kullanıcılarını bu oyuncakların yasal kurallara uyularak kullanılması gerektiği ve yasaları ihlal edenlerin büyük cezalarla karşılaşacağı konusunda uyardı. Benzer şekilde, ABD FAA tatilden hemen önce bir video yayınladı ve iddialı dron kullanıcılarına dron kullanırken nasıl davranmaları gerektiğini öğretti. İHA'nın çeşitli faaliyetlerde kullanımı, emlak sektöründe de genişlemektedir çünkü hava görüntüleri, sunulan mülkün özelliği hakkında daha net fikirler vermektedir.

Buna ek olarak, yüzlerce, hatta binlerce ticari insansız hava aracı kullanıcısı, engellerle ve diğer hava taşıtlarıyla temastan kaçınmak için duyuşal teknolojiler hakkında tanımlanmış ayrıntılar içeren mevzuatın çıkarılmasını bekliyor. Ayrıca, insanlı hava araçları ile ilgili olarak hava sahasının bölünme ve kullanım şekillerini belirleyecek olan uygulama kuralları beklenmektedir.

Ticari İHA'ların bu hızlı gelişme eğilimi, askeri uygulamalardan sorumlu yapılar tarafından yakından takip edilmekte ve desteklenmektedir. İnsansız hava araçlarının ticari amaçlarla yaygın olarak kullanılması, barış zamanı faydalı uygulamalarının önemine dair farkındalığın artacağı yönünde umut veriyor. Bu durum dronları sürekli vurgulanan öldürme konseptinden uzaklaştırmak için yardımcı olabilir. Başlangıçta, insansız hava araçlarının geliştirilmesi yalnızca askeri programlar çerçevesinde gerçekleşti. Ancak son zamanlarda sivil kullanım daha fazla sahneye çıkmaya başladı. Kısa sürede çok karlı bir ticari ürün haline geldi.

Sivil İHA pazarına Çinli şirketler hâkim durumdadır. Üreticileri DJI, 2020'de 11 milyar dolarlık küresel satış tahmini ile 2017'de küresel sivil pazarda %75'lik bir paya sahipti.

Bunu 2014 yılında 110 milyon dolarla Fransız şirketi Parrot ve 21,6 milyon dolarla Amerikan şirketi 3D robotics takip ediyor.

Mart 2018'den bu yana, ABD FAA'ya bir milyondan fazla İHA (878.000 hobi ve 122.000 reklam) kaydedildi. Sivil İHA pazarı, orduya kıyasla nispeten yeni bir pazardır. Şirketler, gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerde aynı anda ortaya çıkıyor. Bir çok yeni başlayan firma, Hindistan'da olduğu gibi Amerika Birleşik Devletleri ve devlet kurumları gibi yatırımcılardan destek ve fon aldı. Bazı üniversiteler araştırma veya eğitim için programlar veya mezuniyet tezleri sunar. Özel kuruluşlar ayrıca İHA'nın hem eğlence hem de ticari kullanımı için bireylere çevrimiçi dersler ve eğitim programları sunmaktadır.

Ticari dronlar, ekonomik olmaları nedeniyle dünya çapında ordu tarafından da kullanılmaktadır. 2018 yılında İsrail ordusu, sivil insansız hava araçlarının kullanımının daha kolay ve daha güvenilir olması nedeniyle kolay bir keşif görevi için İHA Mavic ve Matrix tiplerini kullanmaya başladı. Ayrıca Çin DJI firmasının ticari insansız hava araçları da Amerikan ordusu tarafından yaygın olarak kullanılır.



Şekil 110. Drone ile çekilmiş fotoğraf

Küresel İHA pazarı yakında zamanda 21,47 milyar ABD doları ciroya ulaşırken, Hindistan pazarı 2021 yılında 885,7 milyon dolara ulaştı.

İnsansız hava aracı aydınlatması, spor müsabakalarının gece gösterimlerinde, sanat ve reklam programlarında kullanılmaya başlandı.

4.2.6 Hobi Amaçlı Kullanım

Görsel olarak orijinaline benzeyen, otonom uçuş özelliklerine sahip veya aynı zamanda orijinalin bir simülasyonu olan, iyi bilinen türetilmiş hava taşıtlarının İHA modelleri genellikle eğlence amaçlı kullanılmaktadır. Bu uçak modellerinin yanı sıra birçok hobi uçak modelleyicisi orijinal uçağı kopyalamadan özgün çözümler geliştirmektedir.

İlk amatör İHA'ların kullanımı, radyo kontrol sinyali (RC) ile son derece basitti. Bu türden ilk türevlerden biri Şekil 111'de gösterilmektedir.

Hobi dronları ayrıca, çeşitli etkinlikler, kutlamalar ve partiler için ilgili taraflardan kolayca satın alınabilen ve çoğunlukla birkaç bin dolara kadar olan dronları da içerir. Bu sistemler kullanımdan önce parçalardan ve bileşenlerden monte edilebilir ve resmi altyapı veya operatör eğitimi gerektirmez.



Şekil 111. İnsansız hava araçları çağını başlatan, radyo sinyalleriyle (RC) kontrol edilen, piston pervaneli bir uçak modeli

Meraklılar için tasarlanan dronlar, bireylerin daha önce yalnızca uçaklardan veya helikopterlerden çekilebilen fotoğrafları çekmelerine olanak tanıyor. Sensörler, özellikle hava fotoğrafçılığı söz konusu olduğunda, iyi bir fotoğraf kalitesi için son derece önemlidir. Bu nedenle bugün, dron pazarında yeni Mavic 2 Pro ve Phantom 4 fotoğraf uçağı Pro V2.0 gibi dronlarda kullanılan 1 inçlik sensor yeni altın standart olarak görülmektedir.

Kesinlikle en güçlü profesyonel fotoğrafçılık dronu, düşük ışıktaki yüksek kaliteli fotoğraflar çekmeyi kolaylaştıran bir CMOS (Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken) sensörü kullanan Inspire 2'dir.

İyi fotoğraf dronları, yalnızca iyi görüntü kalitesi ve uçuş kontrol sistemi sağladıkları için değil, aynı zamanda akıllı çekim destek işlevleriyle donatıldıkları için de son derece pahalıdır. Farklı dronların farklı özellikleri vardır. Örneğin, Mavic 2 Zoom, uzaktaki nesnelerin daha yakından görünmesini sağlayan ve benzersiz sahneleri uzaktan çekim için daha erişilebilir hale getiren çift optik yakınlaştırmaya sahiptir. Phantom 4 Pro, hızlı hareket eden nesneleri çekerken oluşabilecek bozulmayı azaltmak için mekanik bir deklanşör ile donatılmıştır.



Şekil 112. Hobi amaçlı kullanılan İHA

Günümüzde çoğu dron kişisel amaçlarla kullanılmaktadır. İnsanlar dronları eğlenmek için kullanıyor, onlarla yarışıyor ve rekabet ediyor. Hafif ve küçük dronlar çoğunlukla bu amaca hizmet eder.

Yarış dronlarının en önemli özellikleri:

- ✂ Kuvvet;
- ✂ Hız;
- ✂ Manevra yetenekleri - çeviklik yarışmalarda puanlanır;
- ✂ Dayanıklılık - yüksek hızı nedeniyle bir şeyle çarpışabilir, bu nedenle dronun sağlam parçalarına ihtiyaç vardır;
- ✂ Uçuş süresi – çoğu drone 5-10 dakika uçtuğu için o kadar da önemli değildir;
- ✂ Hızlı şarj için pillere sahip olmak çok daha önemlidir;
- ✂ Kamera kalitesi - Görüntüyü canlı olarak iletmek için gerekli görüş alanına ve iyi video iletimine sahip olan FPV (Birinci Şahıs Görünümü) gereklidir.

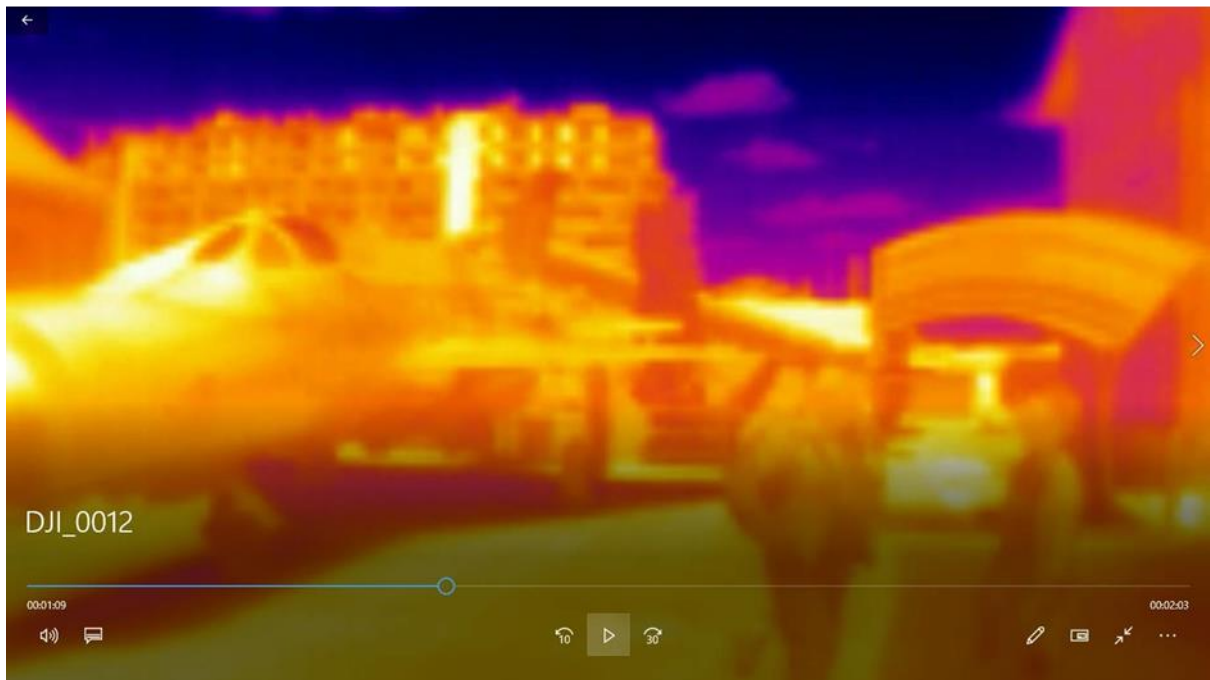


Şekil 113. Yarış dronu Eachine Wizard X220s

4.2.7 Acil Kurtarma Müdahaleleri için Dronlar

Çoğu zaman, felaketin ölçeği veya ciddiyeti nedeniyle, insanları kurtarma görevlerine göndermek yeterince güvenli değildir. Bu durumlarda drone ideal çözüm olmaktadır. Örneğin, bir geminin batması veya kişilerin boğulması durumunda, kurtarma ekibi kurtarmaya yardımcı olması için otonom bir su altı aracı gönderebilir. Ayrıca, yüksek rakımlarda çığ düşmesi durumunda, kar altında kalmış olabilecekleri aramak için dronlar konuşlandırılabilir. Bu anlamda uçak üreticisi Kaman'ın K-MAX adında 2700 kg'a kadar kargo taşıyabilen insansız bir helikopter geliştirmesi önemlidir. Bu tip helikopter, yangınları söndürmek için Çin ve Avustralya'da zaten kullanımdadır.

Akademi mülkü olan DJI MAVIC 2 ENTERPRISE DUO'nun yeteneklerinin yanı sıra tüm aksesuarları arama ve kurtarma operasyonu için tasarlanmıştır.



Şekil 114. SAR dronu için termal fotoğraflar



Şekil 115. Kurtarma Dronu

4.2.8 Çığda Kaybolan Kişilerin Yerini Bulan Dronlar

National Geographic istatistiklerine göre çığlar her yıl çoğu kayakçı, snowboardcu ve kar motosikleti binicisi olmak üzere 150'den fazla kişinin hayatını kaybetmesine neden oluyor.

Dron üreticileri, dronlarının çığ kurbanlarının yerinin daha hızlı tespit edilmesine katkıda bulunabileceğine inanıyor. Aynı zamanda kayak devriyelerinin yüksek yamaçlardaki karı temizlemek için patlayıcıları uzaktan etkinleştirerek önlem almalarına olanak tanıyor.

Arama süresini önemli ölçüde kısaltmak için dronları kullanan kurtarıcılara, çok geç olmadan kar katmanları altında gömülü kurbanlara ulaşma fırsatı verilir. Yani, kar altına gömülen insanların % 90'ından fazlası, 15 dakika içinde çıkarılırsa hayatta kalır. Ancak 45 dakika sonra hayatta kalma şansı sadece %20'dir.

Çek Cumhuriyeti Dağ Kurtarma Servisi, etkinleştirildiğinde düşük güçlü bir darbe sinyali yayan ve çığ altında kalan insanların yerini belirlemeyi kolaylaştıran çığ alıcı-vericilerini veya el telsizlerini tespit etmek için kameralar ve kendi sistemleri ile donatılmış Robodrone Kingfisher kurtarma insansız hava araçlarını kullanıyor. Bununla birlikte, çığ alıcı-vericileri taşımayan insanlar için, metan ve karbondioksit gibi gazları tespit edebilen ve böylece kar ve moloz altında gömülü insanları tespit edebilen özel termal ve multispektral sistemler vardır.

Öte yandan, devriye ekiplerinin patlayıcı kullanarak kontrollü çığlar oluşturmaya yardımcı olan insansız hava araçları söz konusu olduğunda, özellikle Federal Hükümetin sivil operatörlerin silahlı insansız hava araçlarını ABD topraklarında kullanmasına izin vermediği Amerika'da, ar-ge çalışmaları şu anda beklemededir.

4.2.9 Drone Uzay Uçuşları

NASA ve ABD Hava Kuvvetleri, birkaç yıldır uzay yolculuğuna yönelik insansız hava araçlarını test ediyor. Şöyle ki, X-37B drone, ABD Hava Kuvvetleri'nin minyatür bir uzay mekiği gibi görünen ve iki yıldan fazla bir süredir alçak Dünya yörüngesinde dönen ve böylece en uzun uçuş rekorunu kıran ultra gizli bir insansız hava aracıdır.

X-37B 8,9 m uzunluğunda ve 4,5 m kanat açıklığına sahipken, maksimum kalkış ağırlığı 5 tonun biraz altındadır. Alt yörünge daha fazla manevra kabiliyeti gerektirdiğinden, bu da daha fazla yakıt anlamına gelir, bu drone iticileri, daha kesin olarak, itme kuvveti oluşturan bir iyon "jeti" oluşturmak için ksenon gibi gazları iyonize etmek için elektrik ve manyetik alanlar kullanan Hall iticileri kullanır. Bu teknoloji, geleneksel roketlerden çok daha temiz, daha güvenli ve enerji açısından daha verimlidir, ancak asıl sorunu nispeten düşük itme gücü ve yavaş ivmedir, bu nedenle Dünya'dan fırlatma için kullanılamaz, yalnızca uzay yolculuğu için kullanılabilir".

Resmi bilgilere göre, bu modelin yıllardır süren testi, gelişmiş rehberlik, navigasyon ve kontrolü test etmeyi amaçlıyor ki bu yüksek sıcaklık koşullarında yapıların ve contaların direncinin test edilmesi, yeniden kullanılabilir uyumlu yalıtım, hafif elektromekanik uçuş sistemleri, gelişmiş itki sistemleri, gelişmiş malzemeler ve ayrıca otonom yörünge uçuşu, dönüş ve iniş gibi termal koruma sistemlerinin ve aviyoniklerin test edilmesini kapsıyor.

Görevlerinin ne olacağı muhtemelen çok gizli tutulan bir sırdır, ancak büyük uyduları daha küçük uydulara indirmek, yörünge alt kısımlarına eşit derecede alçalmak, Kuzey Kore'de füze fırlatma veya Güney Çin Denizi'ndeki tartışmalı bölgelerdeki Çin operasyonları gibi yerlerin daha yüksek çözünürlüklü görüntülerine ihtiyacınız olduğunda mantıklıdır.

4.2.10 Tıp Alanında Dronlar

Günümüzde tıbbi teknolojiler artık sadece bilgisayarların kullanımı ile sınırlı değildir. Dünyanın dört bir yanında, uzak ve ulaşılması zor bölgelere ilaç ve tıbbi ekipman ulaştırmak, uzak hastanelerden kan örneklerini büyük şehirlerdeki hastanelere taşımak, acil durumlarda afet yardımı olarak ülke genelindeki insanlara bağışlanan organların teslim süresini azaltmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilecek drone prototipleri üzerinde çalışılıyor.

Maryland eyaletindeki Johns Hopkins Üniversitesi'nden araştırmacılar, 2017 yılında çölde 250 km üzerinde uçmayı başaran drone ile kan örneklerini başarıyla nakletmiş ve böylece uçuş menzili konusunda yeni bir rekora imza atmıştır. Bu çalışmada, dikey olarak kalkış yapma ve geleneksel yatay uçuşa geçme yeteneğine sahip bir QuadPlane hibrit drone olan Latitude Engineering HQ-40 hava aracı kullanıldı. Bu drone, dar bir alana iniş yapma özelliğine sahip olduğu için bu göreve son derece uygun olduğunu kanıtladı.

Yani, üç saatlik uçuş sırasında, yerleşik sıcaklık kontrol sistemi sayesinde, numunelerin inişten sonra daha fazla analiz için hazır olması için en uygun koşullar yaratıldı.

Numuneler, Hopkins ekibi tarafından tasarlanan sıcaklık kontrollü bir odaya yerleştirildi. Hazne, sıcak veya soğuk havalarda numuneleri oda sıcaklığında saklamak için uçağın elektrikliğini kullanır. Bu cihaz, günümüzde numuneleri taşıırken en yaygın olarak kullanılan eşdeğer miktarda buzdan daha hafiftir. Ayrıca hazne, hava sıcaklığı düşükse numuneleri ısıtma özelliğine sahiptir.

Bunun, en büyük engelin artık dronlar kullanılarak üstesinden gelinebilecek lojistik engeller olduğu, kırsal veya kentsel bir ortamda biyolojik örnekleri teslim etmek için en hızlı, en güvenli ve en etkili seçenek olduğu kanıtlanmıştır.

2018'de Joy Nowai, Güney Pasifik'teki Vanuatu ada eyaletinde ticari bir insansız hava aracıyla teslim edilen aşırı alan ilk bebek oldu. Drone daha sonra adanın batı tarafında yer alan Dillon Körfezi'nden adanın doğu, uzak ucundaki Cook Körfezi'ne kadar yaklaşık 40 km'lik dağlık arazide uçtu.

Şöyle ki, Cook Körfezi'nde elektrik yoktur ve bu nedenle sağlık tesisi de yoktur. Bu küçük topluluğa ulaşmak için kayalık tepeleri yürüyerek aşmak veya elverişsiz hava koşulları nedeniyle seferleri sıklıkla iptal edilen küçük yerel tekneleri kullanmak gerekir.

UNICEF'in icra direktörü Henrietta H. Fore'a göre, bu durum küresel düzeyde ilk kez bir ülke hükümetinin aşları uzak bölgelere dronlarla taşımak için ticari bir şirketi kiraladığı ilk olaydı. Şirket, Avustralyalı Swoop Aero şirketi idi ve bu olay, drone teknolojisinin, şimdiye kadar aşılması neredeyse imkânsız kabul edilen kilometrelerce uzunluktaki erişilmez arazilere köprüler kurarak gelecekte değişimi nasıl etkileyebileceğinin benzersiz bir örneği oldu.



Şekil 116. Tıbbi kullanıma özel drone

4.2.11 Film Çekimleri ve Spor Etkinlikleri

Son zamanlarda, dron filmleri daha kaliteli, daha kolay ve daha hızlı çekim nedeniyle popüler hale geldi. Dron kameraları, belirli bir sahneyi yakalayan önceden programlanmış bir uçuş yolu ile tüm görüntüyü kendi başlarına havadan yakalayabilir. Kamera dronları hafiftir ve dayanıklı malzemelerden yapılmıştır. Ayrıca düğünleri, konserleri, spor etkinliklerini kaydetmek için de kullanılırlar. Sabit kameralarla yakalanamayan geniş bir perspektif sağlarlar.



Şekil 117. Film endüstrisinde İHA kullanımı

4.3 İHA Kullanım Amaçları

İHA'nın kullanım amacı çok geniştir ve uygulanabilir teknolojilerin dinamik gelişimini sağlayan artan işlevsellik ile genişlemektedir. Diğer durumlarda olduğu gibi, ordular çeşitli amaçlar ve misyonlar için belirli bir avantajı diğerlerine göre önceliklendirmeye odaklanmak ve ayrıcalıklı bütçe fırsatlarını kullanmak için en çok İHA'ların teknolojik gelişimine ve operasyonel kullanımına yatırım yapmaktadırlar. Uygulanan teknolojilerin ticarileşmesi ile birlikte birçok sivil faaliyette de uygulama hızla yaygınlaşmaktadır.

İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) veya dronlar, günlük görevlerden son derece tehlikeli olanlara kadar çeşitli görevleri yerine getirmek için tasarlanmıştır. Aslen askeri ve havacılık endüstrileri için geliştirilen dronlar, artan güvenlik seviyesi ve aynı zamanda beraberinde getirdikleri kullanışlılık sayesinde zamanla günlük hayata daha fazla girmiştir.



Şekil 118. Özel İHA

İnsansız hava araçları, belirli bir otonomi düzeyi ile karakterize edilir. Bu seviye, uzaktan pilotluktan (insan dronun hareketini kontrol eder) dronun hareketini hesaplamak için bir sensör sistemine ve lazer tarama teknolojisi LIDAR'a (Işık Algılama ve Mesafe Değiştirme) bağlı olduğu gelişmiş otonomiye kadar uzanır.

LIDAR teknolojisi, mekansal bilgilerin toplanması ve işlenmesi süreçlerinde en hızlı büyüyen teknolojilerden biridir. LIDAR'ın diğer adı optik radar veya lazer radardır. Radyo dalgaları veya ses dalgaları yerine lazer ışık dalgalarını kullanarak radar ve sonara benzer şekilde çalışır.



Şekil 119. Ekipman donanımlı İHA

Örneğin, çok yakın menzilli dronlar 5 km'ye kadar uçabilir ve çoğunlukla hobiciler tarafından kullanılır. Yakın menzilli insansız hava araçları yaklaşık 50 km, kısa menzilli insansız hava araçları ise 145 km'ye ulaşabilir ve en çok casusluk ve istihbarat toplama amacıyla kullanılır. 650 km mesafeye kadar uçabilen orta menzilli insansız hava araçları, istihbarat, bilimsel ve meteorolojik araştırmalar için kullanılır. En uzun menzilli insansız hava araçlarına "Endurance" dronlar da denir ve 650 km'ye kadar seyahat etme ve yaklaşık 1 km yükseklikte uçuşa yeteneğine sahiptirler.

Dronlar uzaktan çalıştırılabilmeleri, farklı irtifalarda uçarak farklı mesafelere ulaşabilmeleri nedeniyle, dünyanın en zor işlerinden bazılarını üstlenmek için mükemmeldir. Bu nedenle, zor erişilebilir alanlarda hayatta kalanları ararken kullanılabilirler, çoğu zaman, terörist faaliyetler sırasında orduya ve polise kuş bakışı görüntü sağlarlar, ayrıca dünyadaki en uç bölgelerde bilimsel araştırmaların ilerletilmesine yardımcı olurlar ki bu çok önemlidir. Dronlar zamanla evlerimize de ulaştı ve bugün, diğer şeylerin yanı sıra, dünyanın dört bir yanındaki fotoğrafçılar için önemli bir araç haline geldi.



Şekil 120. İHA

- ✂ Tek rotorlu helikopterler - sıradan helikopterlerin daha küçük versiyonları gibi görünürler ve gaz veya elektrikle çalışabilirler. Tek bir pervane kanadı ve gazla çalışabilme özelliği, stabilitesine katkıda bulunur ve daha uzun mesafelerde uçuşmasını sağlar. Bu dronlar tipik olarak, arazi araştırması, fırtına araştırması ve küresel ısınmanın neden olduğu erozyonun haritalanması için LIDAR sistemleri dahil olmak üzere daha ağır nesneleri taşımak için kullanılır.
- ✂ Çok rotorlu dronlar - çok rotorlu dronlar genellikle piyasadaki en küçük ve en hafif dronlardan biridir. Sınırlı menzile, hıza ve irtifaya sahiptirler ve meraklılar ve fotoğrafçılar için mükemmel araçlardır. Bu dronlar, kamera gibi hafif bir yük taşıyarak havada yaklaşık 30 dakika durabilirler.
- ✂ Sabit kanatlı dronlar - kaldırmanın rotorlar yerine kanatlar tarafından sağlandığı normal uçaklara benzerler, bu da onları çok verimli kılar. Bu dronlar genellikle elektrik yerine yakıt kullanır ve bu da 16 saate kadar havada kalmalarını sağlar. Genellikle diğer dronlardan çok daha büyük olduklarından ve farklı şekilde tasarlandıklarından, tıpkı normal uçaklar gibi kalkış ve iniş için bir piste ihtiyaç duyarlar. Sabit kanatlı dronlar genellikle askeri operasyonlar için ve bilim adamları tarafından ekipman taşımak için kullanılırlar. Ancak kâr amacı gütmeyen kuruluşlar tarafından ulaşılması zor alanlara yiyecek ve diğer ihtiyaç duyulan malzemeleri ulaştırmak için de kullanılırlar.

4.3.1 İHA Uygulama Teknolojisi

İHA'ların dünya çapında geliştirilmesi ve üretilmesi, özellikle askeri amaçlar için yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Askeri İHA'ların geliştirme maliyetleri, çoğu askeri programda olduğu gibi, genellikle ilk tahminleri aşar. Bunun nedeni, temel olarak geliştirme sırasında gereksinimlerin değişmesi, daha ileri teknolojilerin hızla ortaya çıkması ve mevcut kapasitelerin rasyonel kullanımındaki başarısızlıklardır.

İHA'nın ilk kullanımı Vietnam Savaşı sırasındaydı. Fırlatıldıktan sonra İHA, uçaktaki bir cihazda film kasetine videolar kaydetti. Bu hava araçları basit yapıları nedeniyle, dronlar olarak adlandırıldı.

Uçak, fırlatıldıktan sonra genellikle düz bir çizgide veya önceden belirlenmiş dairesel bir rotada uçtu ve uçuşun sonuna kadar video verileri toplayıp indi. İnişten sonra film incelendi ve analiz edildi.

Radyo kontrol sistemlerinin ve uygun altyapının gelişmesiyle, dronlar uzaktan kumandalı, çok kapsamlı ve daha sofistike hatta çok daha etkili bir hale geldiler.

Drone teknolojileri, askeri ve sivil operasyonlarda katılımcıların zorlu, riskli ve tehlikeli eylemlerini kolaylaştırmak için büyük fırsatlar sunduğu için büyük önem taşımaktadır. Bu önem, dronların dayandığı ileri teknolojilere yapılan büyük yatırımları haklı çıkararak hızla gelişmelerini sağlıyor.

NATO, STANAG 4586 (Standardizasyon Anlaşması) belgesi ile mutabakata dayalı standardizasyon prosedürünü başlattı.

1992 yılında ortak metin mutabakatı onaya sunuldu. Amaç, ortak komut istasyonu dil teknolojileri aracılığıyla müttefik ülkelerin dronlar ile elde ettiği bilgileri kolayca paylaşmasını sağlamaktır.

STANAG 4586 standardı, tüm müttefiklerin insansız hava aracı sürecinde standartlaştırılmış mesaj formatlarındaki bilgileri anlamasını sağlar. Aynı şekilde, diğer uyumlaştırılmış İHA'lardan elde edilen bilgiler, sorunsuz bir birlikte çalışabilirlik formatından özel mesajlar olarak aktarılabilir. Bu, tüm müttefik devletlerin söz konusu protokole ortak desteği ile çalışabilir.

Uygulamalı teste, sözleşmede yapılan değişiklikler, sektör uzmanlarından ve destek uzman ekiplerinden gelen geri bildirimler ve yorumlar eklendi.

STANAG 4586'ya uygun olarak geliştirilmekte olan, ilgili endüstri liderlerinin büyük şirketlere entegre edilmiş ürünleri de dahil olmak üzere birçok sistem mevcuttur.

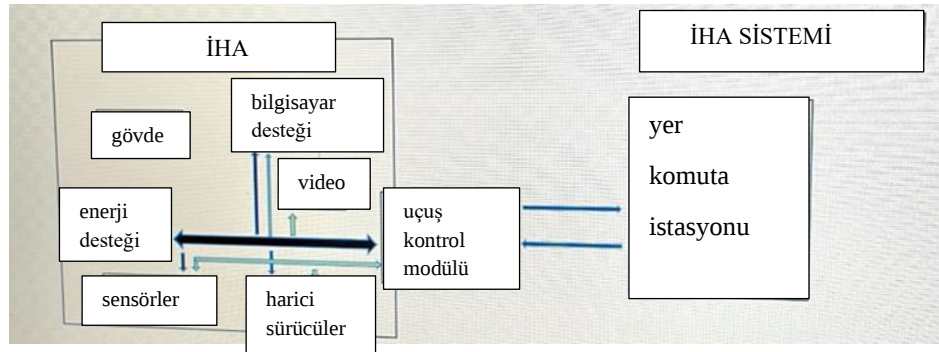
İHA otonomi teknolojisi, navigasyon ve diğer amaçlar için gövde ve sensörler, bilgisayarlar ve sürücü gibi mekanik ve elektronik bileşenlerin entegre edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu ekipman paketi, otonom görevler için işlevleri yerine getirir, çok uzakta bulunan pilotun (operatörün) müdahale seviyesi minimum düzeydedir.

Entegre bileşenler şu şekilde gruplandırılabilir:

- ✂ Uçuş kontrol bilgisayarı (FCC);
- ✂ Navigasyon sensörleri;
- ✂ İletişim modülü;
- ✂ Güç kaynağı.

Entegre RS / 104 programına sahip uçuş kontrol bilgisayarı, yüksek derecede güvenilirlik, kompaktlık ve kapasite genişletme olasılığı (açık konfigürasyon) nedeniyle uyumlu elektronik kartlarla tasarlanmıştır.

Navigasyonun kalbi, sabit bir eylemsiz navigasyon sistemidir. Entegre edilmiş eylemsizlik sensörleri paketinden, bir dijital işlemciden ve bir seri bağlantı noktası üzerinden sinyal iletiminden oluşur. Navigasyon sisteminin çıktısı (Digital Quartz IMU-Navigation Processor DQINP) bir seri çözümdür. Bilgilerin toplanması sürecindeki hatalardan kaynaklanan İHA konumunu tahmin etmeye yönelik sistem hatasını düzeltmek için güvenilir harici kıyaslamaların konumuna ilişkin olarak INS sensörü tarafından sağlanan verileri periyodik olarak güncellemek gerekir. Güncelleme GPS kullanılarak yapılır.



Şekil 121. Genel olarak insansız hava aracı bileşenleri

Bu kontrol yapısında kullanılan Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), iki santimetrelilik olağanüstü bir doğruluğa sahiptir. DQI-NP uçuş komut bilgisayar, İHA'nın doğrusal ve açısal hızının konumunu ve değerlerini yüksek hassasiyetle alır. Ters konum tahmin mesajları, GPS paketinden DQI-NP bilgisayarına her saniye iletilir. Elde edilen navigasyon verilerine dayanarak, uçuş kontrol bilgisayar (FCC) süzülme, dönüş, dönme ve motor çalışma modu olan dört kontrol kanalı için çıktıyı hesaplar. Bu çıkış sinyaline bağlı olarak, motorun kontrol yüzeyi ve "gazi", referans komutları olarak 14-21 ms için sinyalleri (Darbe-Genişlik modülasyonu PWM) kabul eden aktüatörler tarafından sürülür. Bu işlemin gecikmesi (zaman sabiti) 0,8-2,4 ms aralığındadır. Güvenliği sağlamak için, gece plakasının özelleştirilmiş alımına, pilotun (operatörün) yer komuta istasyonundan doğrudan kontrolü için kontrolün FCC'den radyo iletimine (RC) aktarılabilmesi için özel bir devre eklenir. Diğer kanallar, temel panelin kapasitesinin aşılması durumunda, radyo alıcısının çıkışını gösterecek ve böylece pilot İHA'nın komutasını alacaktır. Bu çözümün, İHA uçuş güvenilirliğine ilişkin yardım ve geri bildirim sistemi açısından son derece önemli olduğu kanıtlanmıştır.

İletişim modülü, 900 MHz kablosuz kartlı iki modem ve bir 2,4 GHz kablosuz Ethernet kartı içerir. İletişim cihazının türü, görevin türüne göre seçilir. Kablosuz modemler, üstün menzilleri 20 ila 32 km arasında olduğundan, uzun menzilli görevler için daha kullanışlıdır. Dezavantajları nispeten yavaş akıştır (<11,5 kbps). Bir kablosuz modem navigasyon verilerini iletmek için, diğeri ise GPS tarafından yayılan diferansiyel verileri okumak için kullanılır. Normal durumlarda, 2,4 GHz kablosuz Ethernet kartı, nispeten yüksek verim (11 Mbps'ye kadar), çok yönlülük, düşük güç çıkışı ve hassas GPS işlemleriyle azaltılmış potansiyel parazit avantajına sahiptir. Günümüzde, çok sayıda İHA'dan oluşan sistemlerde, birden fazla katılımcının omurgası olarak kablosuz Ethernet kullanılmaktadır.

Yer istasyonunda iletişim amaçlı bir GPS, bir baz istasyonu ve bir dizüstü bilgisayar, ayrıca kablosuz modem veya kablosuz Ethernet için cihazlar bulunur. Ayrıca, İHA uçuş verileri istasyondan izlenir ve saklanır. Ayrıca buradan, “yönetim dilinde” navigasyon için komut sinyalleri gönderilir.

Daha büyük dronlar, bir işleme birimi (VPU - görüntü işleme birimi) tarafından desteklenen yerleşik bir görüş ve platformda zum özellikli kameralar ile donatılmıştır. VPU, belirli renkteki hedef nesneyi izleyebilir ve seri bağlantı yoluyla FSS bilgisayarından elde edilen navigasyona dayalı koordinasyonunu hesaplayabilir. İzleme ve hata ayıklama işlemleri için VPU’ya bağımsız kablosuz Ethernet üzerinden erişilebilir. VPU, iniş görüşü, yerdeki nesnelerden kaçınma (engelleri aşmak), ilgili binanın görüntüsünü ve planını algılama ve tanıma gibi hayati bir role hizmet eder. İHA projesinde gelişmiş teknolojilerin başında dijitalleşme, uçuş kontrolü, navigasyon, sensörler, yapay zekâ, robotik ve hava aracı ile üs komuta istasyonu arasında sinyal iletimi olduğu aşikâr bir gerçektir. Diğer alanlar için, seri pilotlu uçaklarda kanıtlanmış havacılık teknolojileri, öncelikle boyutları ve maliyetleri en aza indirme kriterlerinin uygulanmasıyla kullanılır.

Mürettebat ve İHA ile aynı tipteki uçaklar genellikle tanınabilir şekilde benzer fiziksel bileşenlere sahiptir. Başlıca istisnalar, kontrol sistemi, kokpit, pilot ortamı ve pilotun yaşamı ve güvenliği için gerekli olan sistemlerdir.

Bazı İHA'lar, bir yetiştikenden (pilot) çok daha hafif olan bir faydalı yük (kamera gibi) taşır. Silahlı askeri İHA'lar, büyük bir kargo taşımalarına rağmen, mürettebat ve benzer silahlara sahip eşdeğer uçaklarından kütle olarak daha küçüktür. Küçük sivil İHA'ların belirli bir koruyucu sistemleri yoktur, bu nedenle daha hafif, daha az dayanıklı ve daha ucuz malzemelerden yapılabilirler. Uçuş kontrolü için geliştirilmiş daha küçük elektronik sistemler kullanılmaktadır.

İHA'nın itki gücünün minyatürleştirilmesi, mürettebatlı, daha büyük kütle ve boyutlardaki uçaklar için mümkün olmayan daha küçük boyutlu, yüksek güç teknolojisinin kullanıldığı anlamına gelir. İHA, küçük elektrik motorları ve dayanıklı modern elektrik pilleri kullanır.

İHA komuta sistemleri, insanlı uçaklardakilerden oldukça farklıdır.

Pilot, insanlı bir hava aracı olması durumunda İHA'nın uzaktan kumandasının yerini alırken, kameralar ve video bağlantılarının yerini temel olarak kabin pencereleri alır. Kokpitten aerodinamik kontrol yüzeylerine kadar mekanik veya elektrikli uçuş kontrolleri telsizli dijital kontrollerin, yerini almıştır. Otopilot yazılımları temelde pilotlu hava araçları ve insansız hava araçları için benzerdir ancak farklı içerik işlevlerine sahiptirler.



Şekil 122. İHA için aydınlatma sistemi

4.3.2 Drone Teknolojisi

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve farklı isimler altında insansız hava aracı olarak birçok alanda sınırsız imkanlar sunan dronlar artık sadece bir hobi olmaktan çıktı. Askeri ve ticari sanayi gibi birçok alanda kullanılan bir teknoloji haline geldiler. İnternet ve yapay zekâ ile gelişen dronlar, günümüzde çeşitli fiziksel ve siber güvenlik tehditleri oluşturmalarının ucuz ve etkili bir yoludur. ABD ordusu tarafından terör örgütleriyle mücadelede insansız hava araçlarının kullanılması dron kullanımını yaygınlaştırdı.



Şekil 123. ABD Askeri Dronu

Dronların küçük olmaları, tehlikeli ortamlarda daha kolay çalıştırılabilimleri, konvansiyonel hava araçlarına göre daha az bakım ve işletme maliyetine sahip olmaları kullanımlarının yaygınlaşmasında oldukça etkili olmuştur.

Kayıtlı İHA'ların 878 bini hobi amaçlı, 122 bini ise kamu ve ticari amaçlı kullanılıyor. BI Intelligence tarafından 2016 yılında yayınlanan bir rapora göre, dünya genelinde toplam dron satışı 12 milyar doları buldu. Söz konusu rapordaki tahminlere göre 2021 yılına kadar dünyada sadece üç ülkenin bir önceki miktarı aşması bekleniyor.

Milyonlarca dron varken bu sayının 2019'da 17,5 milyona, 2020'de ise 22 milyona çıkması bekleniyor. Aviat Drones tarafından 2017 yılında hazırlanan “Küresel Drone Pazarı” raporuna

göre; drone güvenlik araçları pazarı 2020 yılına kadar 10,5 milyar doları aşacak. 2017 yılında araştırma şirketi GrandView Research, drone yazılımı ve hizmetleri için küresel pazarın 2025 yılına kadar 84,3 milyar dolara ulaşacağını gösteriyor.

4.3.3 Türkiye'de Kayıtlı Dron Verileri

Türkiye'de kayıtlı dron ve dron lisansı sahiplerinin sayısındaki artış, dronlara olan ilginin arttığını gösteriyor. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün (SHGM) 2018 yılı verilerine göre; Türkiye'de kayıtlı İHA sayısı 24 bin 866, bu araçları kullanan kişi sayısı ise 31 bin 194 oldu. Türkiye'de bir yılda tescil edilen İHA sayısı sekiz civarında. Ruhsat sahibi sayısı beş kat arttı. Dronları bir nebze de olsa kontrol altında tutabilmek için ülkemizde kayıt yaptırmak zorunlu hale getirildi. Azami kalkış ağırlığı 500 gram ile 25 kg arasında olan İHA'lar ve pilotları tescil edilmek üzere SHGM'ye (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) gönderilir.



Şekil 124. Bayraktar

5 Drone Yönetmeliği ve Uygulama Alanlarına Göre Dağılım

5.1 Yönetmelik

Yönetmelik (Tüzük), hayatın belirli yönleri üzerinde kontrole izin veren yasal dayanaktır. Kanunlar ve tüzükler gibi yasal araçlardan oluşur. Kanunlar ve tüzükler, nelere izin verilip nelere verilmediğini ve yasal kısıtlamalarla yaptırımların neler olduğunu belirtir.

İnsansız hava araçlarının geleceğin teknolojisini temsil etmesi, uçuş özelliklerinin diğer hava araçlarından farklı olması, insansız hava araçlarının mevcut hava sahasında güvenli bir şekilde

yer almasını sağlayacak yasal düzenlemelerde düzeltmeler yapılmasını gerektirmektedir. Yönetmelik güvenliğe dayalı olmalıdır - toplumu dronların olası kötü etkilerinden korumalıdır. Dron kullanımının yaygınlaşması ile potansiyel tehlikeler tespit edilmiştir. Kullanıcı sayısındaki artış ve çok sayıda kaza, güvenlik sorununa ve bu alanda belirli yasaların çıkarılması gerektiğine işaret etmiştir.

Her ülke insansız hava araçlarıyla ilgili kendi düzenlemelerini benimser, bu nedenle aralarında belirli farklılıklar vardır. Elbette uluslararası havacılık kuruluşlarının benimsediği ve tüm ülkelerin uyması gereken bazı temel kurallar da var.

5.2 Avrupa Yönetmeliği

Avrupa bölgesi, havacılık endüstrisinin gelişimine katkıda bulunan çok sayıda kuruluşa sahiptir. Bu kuruluşlar kurallar, standartlar, prosedürler ve düzenlemeler yapar. Amaçları, hava trafiğinin mevcut güvenlik, ekonomi ve verimlilik seviyesini iyileştirmektir. Avrupa'nın en önemli iki kuruluşu EASA ve EUROCONTROL'dür.



Şekil 125.EASA

EASA (European Aviation Safety Agency), Avrupa Birliği'nin hava güvenliği ve çevreyi korumadan sorumlu resmi ajansıdır. EASA'nın genel merkezi Köln, Almanya'dadır ve 32 devlet Ajansa üyedir. EASA Direktörü, Avrupa'nın güvenli ve sürdürülebilir dron operasyonlarını (hem iş hem de eğlence faaliyetleri için) sağlayan kapsamlı bir kurallar dizisine sahip dünyadaki ilk bölge olacağına inanıyor. Ortak kurallar inovasyona, dronları içeren teknoloji sektörünün büyümesine ve yatırımın teşvik edilmesine katkıda bulunur.

EASA, dronların kullanımını belirleyen ve öneren bir dizi belge yayınlamıştır, bunlardan en önemlileri şunlardır:

- ✂ Temel düzenlemeler (EC) No 216/2008- hava trafiği temel kuralları. Tasarım, üretim, yedek parçalar, cihazlar ve havacılık ürünleri ile operasyonların gerçekleştirilmesini kapsar. Polis, askeriye, gümrük veya benzeri hizmetler söz konusu olduğunda yukarıda belirtilen ürün, parça, cihaz, personel ve kuruluşlar için geçerli değildir. Şubat 2008'de yayınlanmıştır.
- ✂ Dron operasyonları için düzenleyici çerçeve NPA 2017-05 (A) ve (B)- maksimum kalkış ağırlığı (MTOM) 150 kilogramdan az olan insansız hava araçlarına ilişkin

düzenlemeleri içerir. Bu hava araçları, AB Üye Devletlerinin sorumluluğundadır ve bu da, insansız hava araçları ve bunların sınır ötesi operasyonları için AB ortak pazarının gelişimini engelleyen bölünmüş bir düzenleme sistemine yol açmaktadır.

Bu belgenin amaçları:

- ⌘ Operasyon odaklı, orantılı, risk bazlı ve performans bazlı bir düzenleme sağlamak;
- ⌘ Açık ve özel kategoride yürütülen tüm İHA operasyonları için genel bir çerçeve sunmak;
- ⌘ İHA (İnsansız Hava Aracı Sistemleri) için yüksek ve standart bir güvenlik seviyesi sağlamak;
- ⌘ İHA pazarının gelişimini teşvik etmek;
- ⌘ gizliliğin, veri korumanın ve güvenliğin geliştirilmesine katkıda bulunmak.

Mayıs 2017'de yayınlandı.

Dronların operasyonları için düzenleyici bir çerçeve olan A-NPA 2015-10-, Uzaktan Kumandalı Cihazlara ilişkin Riga Deklarasyonu'nda belirtilen ilkeleri içerir. Dronlar için üç operasyon kategorisi belirtilmiştir:

- ⌘ “Açık” kategori (düşük risk): güvenlik, operasyonel sınırlamalar, endüstri standartlarına uygunluk, belirli işlevlerle ilgili gereklilikler ve minimum bir dizi operasyonel kural aracılığıyla sağlanır. Yürütme polis tarafından sağlanır.
- ⌘ “Spesifik” operasyon kategorisi (orta risk): operatör tarafından gerçekleştirilen bir risk değerlendirmesinin ardından, yetkili bir kuruluşun (QE) yardımıyla Ulusal Havacılık Otoriteleri (NAA'lar) tarafından yetkilendirme yapılır. Bir kullanım klavuzu ve risk azaltma önlemlerini içerebilir.
- ⌘ “Sertifika” kategorisi (daha yüksek risk): insanlı havacılık sistemlerinin gereksinimleriyle karşılaştırılabilir gereksinimlerdir. NAA'lar (lisansların verilmesi ve bakım, operasyonlar, eğitim, Hava Trafik Yönetimi (ATM)/Hava Seyrüsefer Hizmetleri (ANS) ve havaalanı kuruluşlarının onayı) ve EASA (yabancı kuruluşların düzenlenmesi ve onayı) tarafından gözetim sağlanır.

Bu düzenleyici çerçeve, tüm ağırlık sınıflarındaki tüm insansız hava araçları için Avrupa kurallarını kapsar. Eylül 2015'te yürürlüğe girmiştir.

EUROCONTROL Avrupa hava seyrüsefer güvenliği organizasyonudur. 1963 yılında, ana hedefi Avrupa hava trafik yönetim sisteminin sürekli geliştirilmesi olan uluslararası bir kuruluş olarak kurulmuştur.

EUROCONTROL'un genel merkezi Brüksel'dedir. Şu anda Sırbistan Cumhuriyeti dahil 41 ülke kuruluşu üyedir. Bu organizasyonun en büyük projesi "Ortak Avrupa Gökyüzü" dür. Projenin amacı, devlet sınırlarını silmek ve tek bir Avrupa hava sahası oluşturmaktır.



Şekil 126. EUROCONTROL

EUROCONTROL, insansız hava aracı sistemlerini RPAS (Uzaktan Kumandalı Hava Aracı Sistemleri), otomatik hava aracı ve DPAS (Sürücüsüz Kişisel Hava Araçları) olarak ikiye ayırır. İHA ATM Uçuş Kuralları, bir dronun hava trafik kurallarına hiç aşına olmayan bir pilot tarafından kontrol edilme olasılığını ortaya koymaktadır. Dronlar ve etrafındaki diğer hava araçları için geçerli olan yeni uçuş kurallarının belirlenmesinin önemi belirtilmektedir. VFR (Görerek Uçuş Kuralları) ve IFR'de (Aletli Uçuş Kuralları) Alçak Uçuş Kuralları (LFR) geliştirilmeden tam entegrasyon mümkün olmayacaktır. En iyi seçeneğin, VFR'de VLOS (Visual Line Of Sight) operasyonlarını ve IFR'de BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) operasyonlarını içeren uçuş kurallarının geliştirilmesi olduğu düşünülmektedir.

EUROCONTROL tarafından yayınlanan en önemli belge, dron operasyonları kavramını tanımlayan, insansız sistemleri ve dronlar tarafından gerçekleştirilebilecek operasyon türlerini açıklayan RPAS ATM CONOPS'dur. Birincil amacı, soruna ilişkin ortak bir anlayış sağlayan ve ilgili tüm ATM aktörleri için eşit şartlar yaratmayı amaçlayan insanlı uçakların ve insansız hava araçlarının operasyonel ATM (Hava Trafik Yönetimi) ortamını tanımlamaktır. Şubat 2017'de yürürlüğe girmiştir.

5.3 ABD Yönetmeliği

FAA (Federal Havacılık İdaresi), Amerika Birleşik Devletleri'nin sivil havacılığın tüm yönlerini düzenleme yetkisine sahip bir hükümet organıdır.

Ana yasal çerçevelerden biri, İnsansız Hava Aracı Sistemleri - İHA (İnsansız Hava Sistemleri) adlı resmi bir belgedir. Ağustos 2017'de yayınlanmıştır ve JO 7200.23A belgesi olarak bilinmektedir- sekiz bölüm ve dört ekten oluşur. Belgenin amacı, bir insansız hava aracının yasal olarak nasıl çalıştırılacağına dair bilgi ve rehberlik sağlamak ve ABD hava sahasındaki insansız hava aracı operasyonlarını içeren planlama koordinasyonu ve hizmetlerini belirlemektir.

Aralık 2015'ten bu yana, tüm dronların sisteme kayıt edilmesi gerekmektedir. FAA, 0,25 ila 25-kilogram arasındaki tüm insansız hava araçlarının kayıt altına alınması gerekliliğini vurgulamaktadır. Kayıt geleneksel olarak veya çevrimiçi olarak yapılabilir.

Dronun ağırlığı 25 kilogramdan fazlaysa ve hobi harici operasyonlar için Amerika Birleşik Devletleri dışında kullanılıyorsa, operatörün dronun tescili için başvuru yapması gerekir.

Kayıt koşulları - başvuru sahibi ABD vatandaşı olmalı veya yasal daimî ikametgâh sahibi olmalı ve 13 yaşından büyük olmalıdır. Kaydın tamamlanmasının ardından, başvuru, bireysel bir kimlik numarası (dron üzerinde de belirtilen) içeren bir Uçak Kayıt Sertifikası verecektir.

Bölüm 107 belgesi (FAA'nın Küçük İHA Kuralı), hobi dron kullanıcıları ve ticari dron kullanıcıları için zorunludur.

Aşağıdaki koşulları karşılamaları gerekir:

- ⌘ Dronun kayıt yapılması zorunludur;
- ⌘ Dron kullanım ruhsatı gereklidir.
- ⌘ Maksimum kalkış ağırlığı 25 kilogramı geçmemelidir;
- ⌘ Dron ile görsel temas gereklidir;
- ⌘ Diğer uçakların yakınında uçmak yasaktır;
- ⌘ Maksimum uçuş yüksekliği 122 metredir;
- ⌘ Havalimanının kontrollü bölgesinde uçmak yasaktır (Ajans tarafından aksi onaylanmadıkça).

5.4 İzlanda Yönetmeliği

İzlanda'daki operasyonların ana düzenlemesi, Yönetmelik 990/2017 belgesinde yer almaktadır. İzlanda Ulaştırma Bakanlığı'ndan özel izin alınmaksızın yer seviyesinden 120 metre yükseklikte uçmak yasaktır. Havalimanı sınırından belirli bir alan içinde havalimanının onayı olmadan dron uçurmak yasaktır. İHA'nın insansız hava aracı yolunun hemen yakınında bulunan en yüksek yapının yüksekliğinin altında uçuşması durumunda özel bir onay gerekmemektedir.



Şekil 127. Reykjavik havaalanı sınırları

5.5 Japonya Yönetmeliği

“Dron, 200 gramdan hafif olanlar hariç, yolcu kabul edemeyen, uzaktan veya otomatik olarak kontrol edilebilen herhangi bir hava aracıdır”.

Japonya'da Hava Trafik Kanunu dron operasyonlarını düzenlemektedir. Yasa, insansız hava araçlarının Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı'nın izni olmadan yerleşim bölgeleri veya havalimanları çevresindeki alanlar üzerinde uçuşmasını yasaklar. Geceleri ve spor gibi etkinlikler sırasında dron uçurmak da yasaktır. Herhangi bir kısıtlamanın olmadığı alanlarda dronlar 150 metrenin altındaki irtifalarda uçmalı, insanlardan, diğer araçlardan veya binalardan en az 30 metre uzakta olmalıdır. Tehlikeli maddelerin dronlarla taşınması yasaktır.

5.6 Sırbistan Yönetmeliği

Sırbistan Cumhuriyeti'ndeki Ulusal Havacılık Otoritesi, Sivil Havacılık Müdürlüğü'dür. Dron ile ilgili en önemli ulusal düzenlemeler Hava Trafik Kanunu ve İnsansız hava araçları yönetmeliğidir. 45/2015 sayılı Hava Trafik Kanunu'nun 10. Maddesi, insansız hava araçlarının, uçak modellerinin, roketlerin ve diğer uçan nesnelerin hava trafiğini tehlikeye atmayacak şekilde ekonomik, bilimsel, eğitimsel, sportif ve diğer amaçlarla kullanılabileceğini belirtmektedir.

Dronlara ilişkin Kural Kitabında, Müdürlük, dronların güvenli kullanımı için daha ayrıntılı koşullar öngörür.

İnsansız Hava Aracı Yönetmeliği:

Maksimum kalkış ağırlığına (MTOM) göre, insansız hava araçları aşağıdaki kategorilere ayrılır:

- ✂ kategori 1 - maksimum kalkış ağırlığı 0,9 kg'dan az olan insansız hava araçlarını içerir;
- ✂ kategori 2 - maksimum kalkış ağırlığı 0,9 kg ila 4 kg arasında olan (4 kg hariç) insansız hava araçlarını içerir;
- ✂ kategori 3 - maksimum kalkış ağırlığı 4 kg ila 25 kg arasında olan (25 kg hariç) insansız hava araçlarını içerir;
- ✂ kategori 4 - maksimum kalkış ağırlığı 25 kg ila 150 kg arasında olan insansız hava araçlarını içerir.

Sırbistan Cumhuriyeti Sivil Havacılık Müdürlüğü tarafından tutulan Uçak Siciline aşağıdakiler girilir:

- ✂ 3. ve 4. kategoriye ait tüm insansız hava araçları;
- ✂ kategori 1 veya 2'ye ait olan insansız hava araçları: 100 m'den daha yüksek irtifalarda uçan, havaalanı yakınında uçan, dron operatöründen 500 m'den fazla yatay mesafede uçan, insanların üzerinde uçan, insanların yanında uçan, şartlı olarak yasaklanmış bir bölgede uçan, gece uçan, sıvı atan veya insansız hava aracının yapısının bir parçası olmayan nesneler veya harici yük taşıyan.

Uçak Siciline kayıt, insansız hava aracı sahibinin talebi üzerine yapılır. İnsansız hava araçlarının Uçak Siciline tescili talebi ile birlikte aşağıdaki belgeler sunulur;

- ✂ Hava aracı yurtdışında üretildiyse gümrük vergisinin ödendiğinin kanıtı, hava aracı Sırbistan Cumhuriyeti'nde üretilmişse sahibinin onaylı yazılı beyanı
- ✂ Sırpça veya İngilizce olarak insansız hava araçlarının kullanımına ilişkin üretici talimatları;
- ✂ Zorunlu trafik sigortasını düzenleyen yasaya uygun olarak, insansız bir hava aracının kullanılması nedeniyle üçüncü şahıslara verilen zarar için bir sorumluluk sigortası sözleşmesi.

Bir insansız hava aracının izin verilen azami uçuş irtifası, daha önce Başkanlıkça daha yüksek irtifada uçuşa izin verilmediği ve hava sahası tahsis edilmediği sürece yerden 100 m yüksekliktedir.

Müdürlük daha önce uçuşun daha büyük bir yatay mesafede gerçekleştirilmesine onay vermediyse ve başvuru sahibi uygun bir risk değerlendirmesi sunmadıysa, bir insansız hava aracının operatöründen uzakta yatay kullanıma mesafesi maksimum 500 m'dir.

5.7 Drone Operatörünün Görevleri

Bir dron operatörü:

- ✂ İnsansız hava araçlarının uçuşunun, kişilerin can, mal ve sağlıklarını tehlikeye atmamasını, kamu düzenini ve huzurunu bozmamasını sağlamakla yükümlüdür.
- ✂ İnsansız hava araçlarını uçuş kurallarına uygun şekilde kullanmakla yükümlüdür;
- ✂ Hava sahasının tahsis edilmiş olması halinde, insansız hava aracının uçuşunun tamamen o saha sınırları içinde gerçekleşmesinden ve uçuşun olası bir şekilde kesintiye uğramasına karşı yetkili hava trafik kontrol biriminin erişimine açık olmasından sorumludur.
- ✂ Uçuştan önce dron sisteminin doğru çalıştığından emin olmanın yanı sıra itici kuvvet miktarını yani pil durumunu kontrol etmekle yükümlüdür.
- ✂ İnsansız hava aracının tüm ekipmanlarının uygun şekilde takılmasını sağlamakla yükümlüdür.
- ✂ Planlanan uçuşun güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli tüm bilgileri toplamak, uçuş alanındaki meteorolojik ve diğer koşulların güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak ve hava sahasının daha önce diğer kullanıcıların ihtiyaçları için tahsis edilip edilmediğini veya planlanan uçuşu gerçekleştirmek için kısıtlamalar olup olmadığını kontrol etmekle yükümlüdür.
- ✂ Uçuş sırasında insansız hava aracının engellerden güvenli bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamakla yükümlüdür.
- ✂ Alkol veya psikoaktif maddelerin etkisi altında olmamalıdır ve insansız hava aracını güvenli bir şekilde kullanmasını engelleyebilecek psikofiziksel bir durumda olmamalıdır.

6. Uçuş Güvenliği ve Hazırlık

İnsansız hava aracı operatörü, insansız hava aracı sistemini doğrudan yöneten, uçuşunu kontrol eden, kontrol sistemini programlayan ve hava aracının uçuşundan sorumlu olan kişidir.

Operatör, kalkıştan önce dronun güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamakla yükümlüdür. Operatör her kullanımdan önce tüm sistemlerin çalıştığından, pillerin dolu olduğundan ve dron kamerası ile bağlantı olduğundan emin olmalıdır. Operatör ayrıca ışıklı işaretlerin çalışır durumda olup olmadığını da kontrol etmelidir.

Operatör, dronun tüm bileşenlerini kontrol etmekle yükümlüdür çünkü arıza veya pilin bitmesi durumunda dronun insanlar tarafından fark edilmesi gerekir.

Ayrıca dron operatörü, uçuşun gerçekleştirilmesi için tahsis edilen hava sahasını kontrol etmekle yükümlüdür. Operatör, diğer hava araçlarına ve çevredeki tesislere zarar vermemeye ve insanların yaralanmamasına özen göstermelidir.

6.1 Drone Uçuşunun Güvenli İcra Edilmesi İçin Temel Parametreler

Uçuştan önce alınması gereken güvenlik önlemleri:

- ✂ Hava sahası seçimi
- ✂ Risk değerlendirmesi (kuşlardan, diğer trafikten, yerleşim alanlarından vb. kaynaklanan tehlike);
- ✂ Kişinin kendi yetenek ve yeterliliklerinin değerlendirilmesi (yorgunluk, stres, alkol vb.);
- ✂ Dron kontrolü (ışıklar, piller, parçalar vb.);
- ✂ Yazılım bileşenlerinin kontrol edilmesi (kullanıcıyla bağlantı, güvenlik uyarıları vb.)

Tüm bu işlemler gerçekleştirildiğinde, drone operatörüne dronun kalkışa hazır olduğu ve güvenle kullanılmaya hazır olduğu bildirilir.

Uçuş sırasında alınması gereken güvenlik önlemleri:

- ✂ Dron güvenlik durumunun sürekli izlenmesi;
- ✂ Özelliklerine uygun dron kullanımı;
- ✂ Hava sahasına uygun uçuş yapılması;
- ✂ Dron menzil kontrolü.

Uçuştan sonra alınması gereken güvenlik önlemleri:

- ✂ Güvenli iniş;
- ✂ Dron ekipmanının kontrol edilmesi;
- ✂ Güvenli dron imhası.

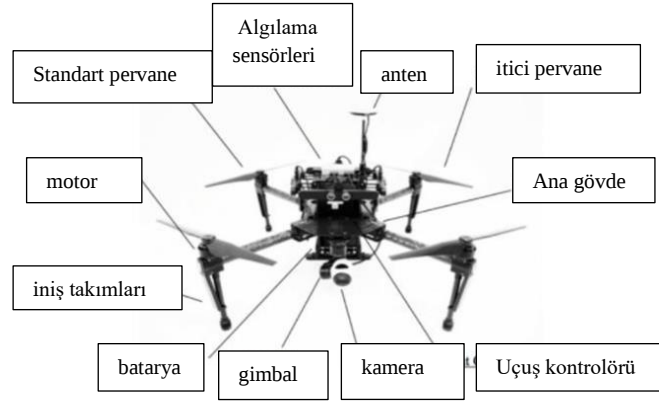
6.2 Minimum ve Maksimum Güvenlik

Minimum Güvenlik durumu - bileşenlerin doğruluğu şeklinde minimum güvenlik durumu söz konusu olduğunda, üretici tarafından MMEL - Minimum Temel Ekipman Listesi şeklinde verilir.

Operatör, minimum güvenlik durumunu üreticinininkinden daha az kısıtlayıcı olmaması gereken üretici MMEL'ine göre tanımlayabilir.

Fonksiyon	Ekipman	Kullanım	Fotoğraf
Sürücü	Çekirdeksiz motorlar	pervaneyi küçük multi rotorlarda çalıştırır	 [22]
	Fırçasız motorlar	Pervaneyi çalıştırır ve ESC tarafından kontrol edilir	 [23]
	Elektronik hız kontrolü	uçuş kontrolörü tarafından yönetilen motorlara sağlanan elektrik gücünü düzenler	 [24]
Güç	Lipo Batarya	sürüş sistemine, pilot sistemine ve faydalı yüklere enerji sağlar	 [25]
Kontrol ve İletişim	Antenler	yer istasyonundan (alıcı anteni) komutlar alır ve yerleşik sistemden telemetri ve diğer (video vb) verileri gönderir(verici anteni)	 [26]
	Yer kontrol merkezi	operatör komutlarını İHA'ya gönderir ve gerçek zamanlı uçuş verilerini alır	 [27]
Otopilot	Uçuş kontrolü	Sensörlerden alınan verilere ve yer istasyonundan gelen komutlara bağlı olarak her bir motorun ve diğer sistemlerin gücünü kontrol eder; açık yazılıma sahip ticari standart bir cihaz veya özel bir çözüm için geliştirilmiş bir ürün olabilir	 [28]
	GPS	RPAS'ın coğrafi konumunu belirler	 [29]
	BAROMETRE	Deniz seviyesinden olan uzaklığı belirler	 [30]
	Eylemsizlik ölçüm ünitesi (IMU)	entegre akselometreler jiroskoplar ve manometreler mevcut hızlanma oranını belirler dönme atribütlerini ve oryantasyon kaymasını değiştirir	 [31]

Şekil 128. MEL İHA (Minimum Temel Ekipman Listesi)



Şekil 129. Drone sensörü ve temel yedek parçalar

Maksimum güvenlik durumu, drone'nun güvenli operasyon için kullanılan tüm donanım ve yazılım bileşenleridir. Operatör, her şeyin çalışır durumda olduğuna ve tüm programların işlevsel olduğuna dikkat etmelidir.

6.3 Uçuş Hazırlığı Yöntemleri ve Türleri

Daha önce de belirtildiği gibi, bir drone operatörünün uyması gereken bazı kurallar vardır. Hava sahasını seçerken yasak bölgelere, arazinin engebesine, yerleşim yerlerine, havalimanı bölgelerine yakınlığına dikkat etmelidir. Hava sahasını seçtikten sonra, kuşlardan kaynaklanan tehlikeler gibi durumlar için bir risk değerlendirmesi yapılması gerekir - operatör, uçuş güvenliğini tehlikeye atabileceği için dronun kuşlarla temas etmemesine dikkat etmelidir. Diğer trafikten kaynaklanan tehlike; dron herhangi bir hava aracına, arabaya, trene, gemiye vb. yaklaşmamalıdır.



Şekil 130. Drone'un güvenli olmayan kullanımına bir örnek

Hava sahası seçildikten sonra, operatörün kendi kapasitesinin ve yeterliliklerinin değerlendirilmesi yapılmalıdır. Drone kullanmak için operatörün alkol almamış olması veya stress altında olmaması gerekir. Ayrıca, operatör dinlenmiş olmalı ve kendi sınırlarının farkında olmalıdır.

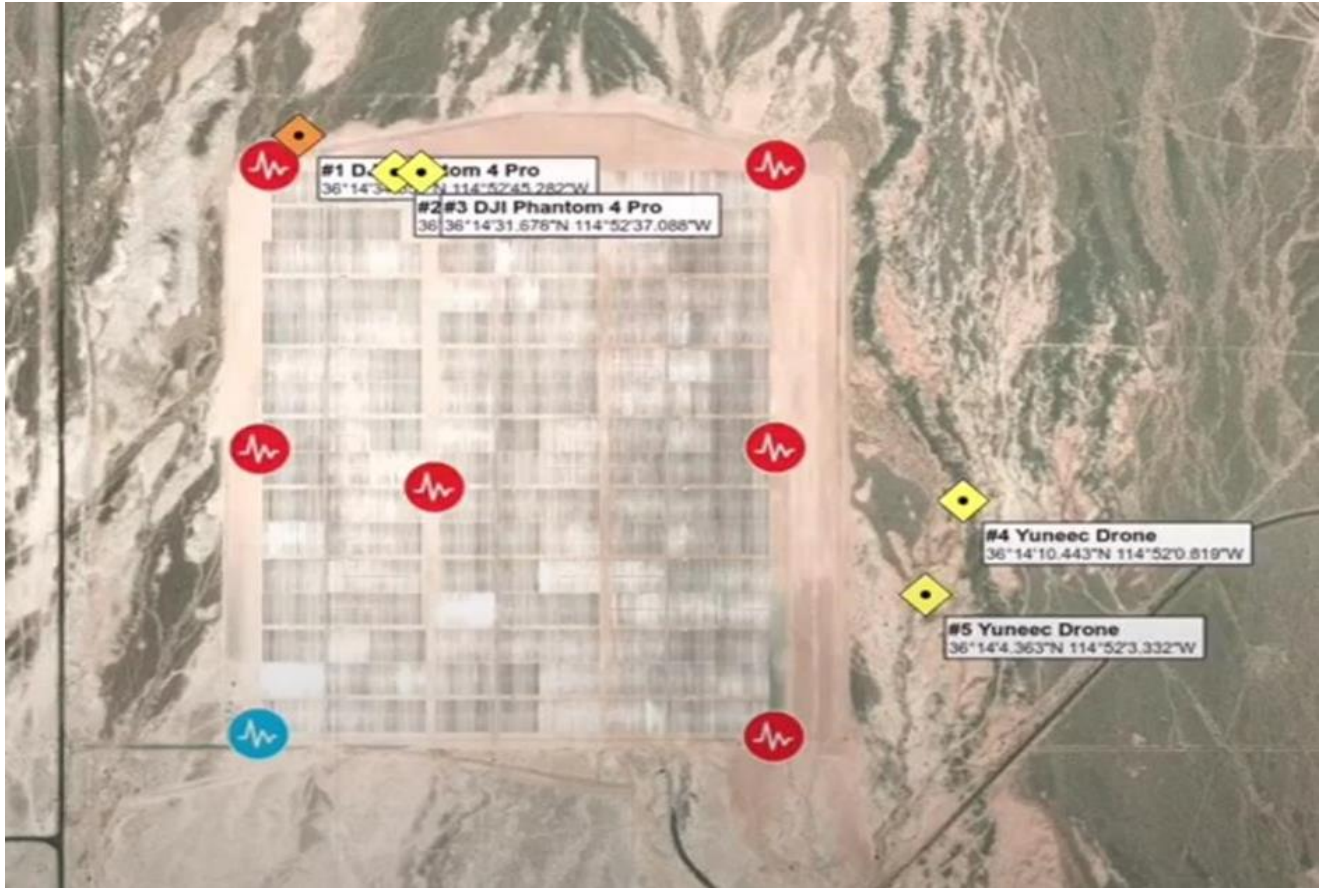
Dronun kontrolü, dronun herhangi bir donanım parçasının kontrolünü içerir, yani, pervane uygunluğunun yanı sıra ışık, akü, motor, ses sinyalleri, pitot-statik sensörler, kamera işlevi, hücum açısı sensörü vb.

Yazılım bileşenlerinin kontrol edilmesi, kullanıcı bağlantısının kontrol edilmesini ve güvenlik uyarılarının kontrol edilmesini içerir.

6.4 Kontrol Türlerini Seçme Yöntemleri

Drone kontrolünün seçimi aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- ✂ Hava koşulları;
- ✂ Drone ekipmanı;
- ✂ Operatörün kapasitesi (eğitimi);
- ✂ Uçuşun amacı;
- ✂ Dronun operatöre olan mesafesi.



Şekil 131 Dronun operatöre olan mesafesi

6.5 Verilen Koordinatlarda Otomatik Uçuş

Kullanıcı, rotayı programlarken başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatlarını, uçuşun irtifasını ve tavan noktasını belirlemekle yükümlüdür. Operatör, belirli bir yükseklikte iki uçuş noktası arasındaki rotada dronun çevre güvenliğini tehlikeye atmamasına özen göstermelidir. Dronun maksimum menzilinin yanı sıra performansına da dikkat edilmelidir.

Operatör, dronun performansını ve özelliklerini dikkate almazsa, drone güvenlik sistemini devreye sokacak ve başlangıç noktasına geri dönecektir.

Bu fonksiyon, dronun maksimum noktasına ulaştığında önceden belirlenmiş koordinatlar ve programlar yardımıyla güvenli bir şekilde geri dönmesini ve bağımsız olarak kalkış noktasına inmesini sağlar. Bu işlev, dronların tehlikeli bölgelerin (yaklaşma, kalkış alanı, askeri tesisler, enerji santralleri, hidroelektrik santraller vb.) üzerinde uçtuğu durumlarda da kullanılabilir.



Şekil 132. Dronun verilen koordinatlara göre uçuşu

6.6 Serbest Uçuş

Serbest uçuşta, operatörün dron ile her zaman görsel temas halinde olması gerekir, dronun performansına ve menziline uygun uçuş yapıldığına da dikkat edilmelidir. Kontrol ekranındaki güvenlik uyarılarını dikkate almak ve pil durumunu periyodik olarak kontrol etmek gerekir. Yönetmelikte, operatörün kalkış yerinde kalması gerektiği belirtilmektedir. Hareket halindeki bir araçtan insansız hava aracı kullanmak da yasaktır.

Operatörün dron ile direkt teması kaybetmesi, menzilini aşması veya bağlantı sinyalinin kaybolması durumunda dron güvenlik sistemini devreye sokmalı ve bilinen ya da hatırlanan koordinatlardaki kalkış noktasına otomatik olarak geri dönmelidir.

6.6.1 Mesafe Kuralları

Mesafe Kuralları, dronların ve diğer trafik unsurlarının, insanların, hayvanların dikey ve yatay olarak mesafelendirilmesi temsil eder.

Mesafe Kuralları şunları içerir;

- ✂ İki veya daha fazla dron arasındaki mesafe;
- ✂ İki veya daha fazla insansız hava aracı grubu arasında mesafe;
- ✂ Dronların diğer trafikle mesafesi;
- ✂ İnsansız hava araçlarının, insanların ve hayvanların mesafesi;
- ✂ Dronların ve yüksek öneme sahip nesnelerin arasındaki mesafesi;
- ✂ İnsansız hava araçlarının yerleşim alanlarına mesafesi

İki veya daha fazla dron arasındaki mesafe, dronlar arasında dikey ve yatay mesafe anlamına gelir. Dronlar yeterli mesafede, yani birbirlerinin işlerine engel olmayacak şekilde olmalıdır.

İki veya daha fazla dron grubu arasındaki mesafe, iki veya daha fazla dron sistemi arasında birbirini olumsuz etkilememesi gereken dikey ve yatay bir mesafedir.

Dronların diğer trafikle ayrılması, dronlar ve diğer ulaşım araçları (uçak, araba, otobüs, tren vb.) arasında dikey ve yatay bir mesafe bırakılmasıdır.

İnsansız hava araçları ile insanlar ve hayvanların mesafesi, insansız hava araçları ile insanlar ve hayvanlar arasındaki dikey ve yatay mesafeyi temsil eder. Yönetmelikte, dikey mesafe 100ft (30m) olarak belirlemiştir.

Dronların ve yüksek öneme sahip nesnelerin mesafesi, dronlar ve yüksek öneme sahip nesneler arasındaki dikey ve yatay mesafeyi temsil eder. Bu, müzelere, havaalanlarına, hapishanelere, bankalara, askeri tesislere vb. uçuş yasağını düzenler.

İnsansız hava araçlarının yerleşim alanlarına mesafesi, insansız hava araçları ve yerleşim alanları arasındaki dikey ve yatay mesafedir. Bu, yoğun nüfuslu bölgelerde uçuş yasağı anlamına gelir.

6.7 Uçuş Güvenliği Yazılımı

Sistemin yazılım kısmı karmaşıktır. Drona sinyaller gönderen ve dronun fiilen kontrol edilmesini sağlayan belirli işlevlere dayanmaktadır. Bu sistemi iyileştirmek için çevreyi ve güvenliği korumaya yardımcı olacak yeni fonksiyonların tasarlanması gerekmektedir.

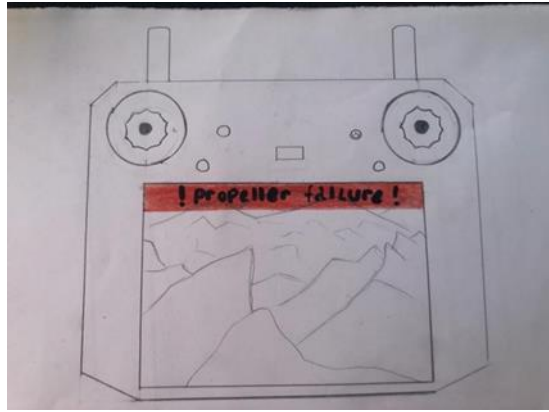
Yazılım programı, dronun havaalanı bölgelerine ve yüksek öneme sahip tesislere yaklaşmasını engelleyebilecektir. Kullanıcı "havaalanı bölgesi" bildirimini görüntüleyebilecektir. Operatör bu bildirime uymaz ve havalimanına doğru yola devam ederse, yazılım bu uçuşu engelleyebilecek ve dronu kalkış başlangıç noktasına geri döndürecektir.

Kullanıcı ekranında görüntülenecek bildirimler:

- ✂ Dikkat! Yasaklanmış bir alana yaklaşıyorsunuz (bu bir havaalanı veya başka bir tesis ise);
- ✂ Dikkat! Yakında uçak var. Dronu uzaklaştırın! (Dron uçağa yakınsa)



Şekil 133 Acil durum bilgisi



Şekil 134. Acil durum bilgisi

6.8 Çalışma Frekanslarının Seçimi

Çalışma frekansları seçilirken radyo navigasyon cihazları için kullanılan diğer frekanslarla çakışmamasına dikkat edilmelidir. Bazı cihazların çalışma frekansları;

- ⌘ NDB (ADF) - çalışma frekansı 190-1750kHz'dir.
- ⌘ ILS (Enstürimanlı İniş Sistemi) - çalışma frekansı 108-112 MHz'dir
- ⌘ VOR- çalışma frekansı 112-118 MHz - VHF iletişimi 118-136 MHz
- ⌘ VHF bağlantı 118-136MHz
- ⌘ DME çalışma frekansı 960-1000MHz'dir
- ⌘ GPS çalışma frekansı 1575MHz'dir

Dron, diğer radyo seyrüsefer öğeleri tarafından kullanılan frekansların hiçbirini kullanmamalıdır.



Şekil 135 Havacılık navigasyonu için özel dron

6.9 Drone Teknolojisi ve Gelecekteki Kullanımı

Dron insansız hava aracıdır. Dronlar, içinde gerçek bir pilot veya mürettebat olmadan uçan bir tür hava aracıdır. Bu nedenle, genellikle insansız hava aracı olarak adlandırılır.

İHA (İnsansız Hava Aracı), ağırlığını azaltan, mukavemet ve manevra kabiliyetini artıran hafif kompozit malzemelerden yapılmıştır.

Başlangıçta insansız hava araçları yalnızca ordu tarafından kullanılıyordu. Ancak günümüzde birçok kişi ve profesyonel kullanıcı tarafından tercih edilmektedirler.

Dronlar; inşaat, savunma, fotoğrafçılık, pazarlama, teslimat, tarım, kurtarma, eğlence vb. gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Bu alanlarda dronlar hayati bir rol oynuyor, işlerin daha kolay ve daha verimli yapılmasını sağlıyorlar.

Bazı dronlar uçuş kısıtlamaları nedeniyle, tam potansiyeliyle kullanılmıyor.

Hindistan'ın 19.553 insansız hava aracı kaydı var. Dünya 2024 yılına kadar 25 milyondan fazla insansız hava aracı kullanacak.

Çeşitli amaçlar için kullanılan çeşitli drone teknolojileri bulunmaktadır.

1. Ürün teslimatı
2. Hava Taksi / Drone Ambulansı
3. Afet Yönetimi

4. Arama kurtarma
5. Hava Fotoğrafçılığı
6. Kanunların Uygulanması
7. Hava Durumu tahmini
8. Eğlence
9. Yaban Hayatı İzleme

Drone Teknolojileri

Dronlar çeşitli boyutlardadır ve çeşitli drone teknolojileri vardır. Bunlardan birkaçı aşağıdaki gibi listelenmiştir:

Dikey Kalkış ve İniş (VTOL)

Her dron dikey kalkış ve iniş yapamaz. Bazı dronlar, dikey olarak kalkabilen, uçabilen, havada asılı kalabilen ve iniş yapabilen quadcopter'lardır. Bu yüzden VTOL olarak adlandırılırlar.

Radar Konumlandırma Drone Teknolojisi

Bu dronlar çift navigasyon teknolojisi ile donatılmıştır. Devreye girdiğinde bir grup navigasyon uydusuna bağlanır. Bu uydu grubu, drona hedefin doğru koordinatlarını verir.

Engel Tespiti Drone Teknolojisi

Bu tür bir dron, ultrasonik, görüş sensörü, kızılötesi, lidar, monoküler görüş vb. gibi birçok algılama sensörüyle donatılır. Bu dronlar çevreyi tarar ve 3D haritalama yapar.

Gyro Stabilizasyon Drone Teknolojisi

Herhangi bir dış güce karşı sorunsuz bir şekilde uçmalarına, gezinmelerine ve iniş yapmalarına izin veren jiroskop ile donatılmış dronlardır.

Dron İtki Teknolojisi

Bu dronlar, dronun herhangi bir yönde uçmasına ve havada asılı kalmasına izin veren bir itki sistemine sahiptir.

GPS Drone Teknolojisi

Bu tip dron, gerçek zamanlı konumun bilinmesine yardımcı olan ve veri doğruluğunu artıran bir GPS sistemine sahiptir.

Drone İletim Teknolojisi

Bu tür dronlar, gerçek zamanlı veri göndermek ve almak için kullanılır. 5G ağının ortaya çıkmasıyla, bu tür insansız hava araçlarında veri iletiminin doğruluğu ve hızı çok gelişti.

Canlı Video Dron Teknolojisi

Bu dronlar, yüksekte uçarken bir konumun gerçek zamanlı videosunu (Canlı Video) kaydeden ve ileten yüksek çözünürlüklü kameralarla donatılmıştır.

Dron Teknolojisi Kullanımları ve Uygulamaları

Drone teknolojileri birçok alanda büyük öneme sahiptir. İnşaat, savunma, hava fotoğrafçılığı, pazarlama, teslimat, tarım, arama-kurtarma, eğlence gibi alanlarda birçok gerçek zamanlı dron kullanımı mevcuttur.

Bunlardan birkaçı aşağıda listelenmiştir:

✂ Ürün teslimatı

Hem e-ticaret şirketleri hem de küçük girişimciler için kazanç düşükse kısa mesafe için kuryeye ödeme yapmak pahalıya geliyor. Bu nedenle dron, operasyonel maliyeti azaltmak için teslimat kuryesinin yerine daha iyi bir alternatiftir. GPS, iletim ve gyro stabilizasyon teknolojisine sahip dronlar, paketleri kısa mesafelere ulaştırmak için kullanılır. Böylece, sadece insan gücünden tasarruf edilmekle kalmaz, aynı zamanda gereksiz karayolu trafiği de gökyüzüne kaydırılmış olur. Küçük paketlerin, ilaçların, yiyeceklerin vb. kısa mesafelere hızlı bir şekilde ulaştırılması için dronlar kullanılabilir.

✂ Hava Taksi / Drone Ambulans

Hava Taksi ve Ambulansı artık günümüzün gerekliliklerindendir. Artan çevresel kaygılar ve yoğun karayolu trafiği ile birlikte hava taksisine olan talep de artmaktadır. Hava taksi sadece seyahat süresini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda karbon emisyonunu, maliyeti ve trafik sıkışıklığını da azaltır. Hava ambulansları, insanların hızlı bir şekilde tıbbi yardım almasına yardımcı olur. Özellikle selden etkilenen bölgelerde ve sıkışık yerlerde drone ambulansı harikalar yaratabilir.

✂ Afet Yönetimi

Dronlar, araçları afetten etkilenen yerlere hızlı bir şekilde göndermek için kullanılabilir. İster doğal ister insan kaynaklı afetlerde dronlar olay yerine en erken şekilde ulaşabilir, bilgi kaydedebilir ve gönderebilir, diğer ilgili kişileri yönlendirebilir ve yaralıları ve kurbanları arayabilir. Kameralı ve sensörlü İHA, konumun daha yüksek çözünürlüklü görüntüsünü verebilir ve daha küçük boyutu sayesinde ulaşılması zor yerlere ulaşabilir.

✂ Arama Kurtarma

Dronlar termal sensörler, kızılötesi, gece görüş kameraları ve iletim cihazları ile yüklendiğinden, güçlü bir gözetleme sistemi olarak görev yapabilirler. Zorlu ve yüksek arazilerde bile kayıp kişilerin, talihsiz kurbanların, suçluların konumları hakkında gerçek zamanlı bilgi gönderebilirler.

✂ Hava Fotoğrafçılığı

Havadan fotoğraf çekimi, konumun ve kişinin ayrıntılı bir görüntüsünü vermenin yanı sıra, yakın çevre hakkında da çok daha düşük maliyetlerle bilgi verir. Ticari fotoğrafçılar, haritacılar, jeologlar vb. durumları daha iyi anlamak için bu dronları kullanıyor.

✂ Kanunların Uygulanması

Büyük halk toplanmalarında, insansız hava araçları gözetleme görevi yapar ve kalabalığın güvenliğini sağlar.

✂ Hava Durumu tahmini

Manevra kabiliyeti, küçük boyutu ve gücü nedeniyle kasırga, fırtına vb. hakkında bilgi göndermek için kullanılabilir. Hava bilim adamlarının ayrıntılı hava parametrelerini bilmesine yardımcı olabilir. Termal sensörlere ve jiroskopa sahip dronlar, hava durumu yörüngesi hakkında fikir verir.

✂ Eğlence

Yüksek çözünürlüklü kameralara sahip dron, kriket, futbol ve spor maçlarının havadan görüntüsünü yakalamaya yardımcı olabilir. Görüntü yönetmenleri, canlı yayın ve havadan çekim yapmak için bu tür dronları kullanır.

✂ Yaban Hayatı İzleme

Dronlar, orman rezervlerini, vahşi yaşam koruma alanlarını ve hayvanat bahçelerini izlemek için kullanılabilir. Dronlar, kaçak avcılar hakkında bilgi gönderebilir. Termal sensörlü ve gece görüş kameralı bu İHA'lar, bu tür alanları gece de izleyebilmektedir. Yabani hayvanları, yaklaşımdan veya onlara zarar vermeden gözlemlemeye yardımcı olabilirler.

Dron teknolojisinin önemi yukarıda da belirtildiği üzere oldukça açıktır. Geniş teknoloji yelpazesi, dronların gerçek zamanlı uygulamalarını iletir. Daha fazla ağırlık kapasitesi, sağlam ve gelişmiş teknolojileri, daha uzun uçuş süreleri ve manevra kabiliyetleri ile dronlar gelecekte şimdikinden çok daha kullanışlı olabilir. Farklı dron teknolojilerinin entegrasyonu ve bu tür dronların geniş boyut ve kapasite yelpazesi, işletmeler için kaçınılmaz bir fırsattır. Tarım, çöp yönetimi ve sanitasyon, trafik izleme vb. gibi diğer birçok alanda kullanılan çok sayıda dron vardır. Bu nedenle, hükümet ve işletmeler, dronların gerçek zamanlı uygulamaları için gerekli altyapıyı oluşturmali ve politikalar geliştirmelidir.

İnsansız hava araçlarının geliştirilmesindeki güncel sorunlar ele alınırsa güncel İHA araştırmalarının odaklandığı belirli alanlar vardır;

Maliyet: İHA'ların işletme maliyetleri insanlı hava araçlarına göre çok düşük olmasına rağmen, bazı İHA'ların geliştirilme maliyetleri çok yüksektir. Örneğin, "Global Hawk'ın birim maliyetinin 35 milyon dolar olduğu söyleniyor, bu rakam, geliştirme maliyetleri dahil edildiğinde üç kat daha fazladır" (Merle, 2004).

Dayanıklılık: Mevcut İHA'lar, normal pilotlu uçaklardan çok daha yüksek bir dayanıklılığa sahiptir, ancak yine de bu durum İHA için düşük kabul edilir. 1970'li yıllarda güneş enerjisi ile İHA uçuşu fikri ortaya çıktı ve bazı İHA'lar geliştirildi, ancak hala ordunun talep ettiği dayanıklılığı karşılamıyorlar.

Son zamanlarda USAF, amacı beş yıla kadar dayanabilen bir İHA geliştirmek olan "Akbaba Programı" ("Akbaba - Havada 5 Yıl Kalabilen İnsansız Hava Aracı", 2008) adlı bir program başlattı. Fikir bir bilim kurgu romanı gibi görünse de bu yöndeki gelişme, bu gereklilikten ve yaklaşık 1000 lbs faydalı yük kapasitesi ile beş yıl havada kalabilen ilk İHA'nın ortaya çıkmasından önce gerçekleşti.

Otonomi: İHA'ların karşılaştığı bir diğer konu da otonomidir. Araştırmacılar, işlevlerinin çoğunu kendi başlarına gerçekleştirebilen ve "kumandadaki pilota" daha az bağımlı olan İHA'lar geliştirmeye çalışıyorlar. Bu amaçla artırılmış C4I ve gelişmiş yapay zekâ özelliği ile daha gelişmiş ve karmaşık sistemler geliştirilmektedir. "Otonomi, birçok uygulamada insan operatörün yerini alıyor" (Tsourdos, White ve Shanmugavel, 2011).

Lockheed Mart'in, daha büyük ölçüde otonom olacak ileri teknoloji C4I ile İHA'lar geliştiriyor, ancak İHA'lara ne kadar otonomiye izin verilmesi gerektiği konusunda siyasi çevrelerde tartışmalar devam ediyor. Tsourdos, White ve Shanmugavel şunları belirtiyor: "Aviyonikteki gelişmeler, GPS'e dayalı navigasyon (Küresel Konumlandırma Sistemi), uçuş kontrol teknikleri ve düşük maliyetli elektronikler, İHA'ların ticari ve askeri uygulamalarda kullanımını daha da artırdı. Gelecekteki İHA'lar, bugün kullanılan uzaktan kumandalı keşif araçlarından daha otonom olacak." Bununla ilgili bir diğer konu ise pilotların kokpit görevinden ayrılarak İHA'nın kontrol odasına katılmayı reddetmesidir. Hizmet kültürü, dronların ortaya çıkışından ciddi şekilde etkilenmiştir. Bu insansız hava aracı operatörlerinin çok azı "gönüllüdür, çünkü çoğu uzaktan uçmak yerine kokpitte uçmayı tercih ettiğini ifade etmiştir" (Fulghum, 1998, s. 61-62). İHA'lar için özel olarak eğitilmiş yeni nesil pilotların, daha doğrusu dron operatörlerinin bu konuda daha az itirazı olsa da, hizmetin normları sorgulanmıştır.

Uydu eksikliği: ABD, İHA'larından oluşan büyük bir filo geliştiriyor olmasına rağmen, yörüngedeki sınırlı sayıda uydu nedeniyle bu İHA'ları aynı anda faaliyete geçiremiyor. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nin yüzlerce Predatör içeren bir filosu olabilir, ancak bu sınırlama nedeniyle bunların tümü aynı anda faaliyete geçemez. (Sirak, 2002). 2001 ve 2002'de USAF, Afganistan'da aynı anda yalnızca iki Predatör ve bir Global Hawk'ı faaliyette tutma kapasitesine sahipti (Hasik, 2008, s. 42). Amerika Birleşik Devletleri'nin bu kapasitesi son yıllarda önemli ölçüde iyileşmiştir, ancak sorun hala devam etmektedir.

Uçakta yakıt ikmali: Araştırmacılar ve geliştiriciler, İHA'ların otonomi ile ilgili sorunlarını çözmek amacıyla İHA'dan İHA'ya havada yakıt ikmalini geliştirmeye çalışıyorlar. Northrop Grumman, özellikle İHA'dan İHA'ya yakıt ikmal tesisi geliştirmeye çalışmaktadır (Bigelow, 2010). Paralel bir program ise, bu sınırlamanın etkilerini azaltmak için güneş enerjisiyle çalışan İHA'ların geliştirilmesidir.

Gizlilik Teknolojisi: Geliştiricilerin son hedefi, "gövdesi yaklaşık yüzde 90 kompozit malzemelerden yapılmış nispeten gizli, insansız bir saldırı uçağı" geliştirmektir (Sweetman & Cook, 2001, s. 59). U-2'ler, Sovyetler Birliği'nin onları vuramaması nedeniyle soğuk savaşta hatırı sayılır bir süre başarılı oldu.

Görünmezlik teknolojisine sahip İHA'ları geliştirmeyi başarırlarsa, Amerika Birleşik Devletleri, Amerikan dronlarının hava sahalarına girmesine izin vermeyen devletlerin - en belirgin olarak Çin'in - faaliyetlerini izlemek için daha iyi bir konuma gelecektir.

Daha fazla taşıma kapasitesi: Şu anda İHA'lar, askeri jargonlarda "yeterli" görülmeyen faydalı yükleri taşıyabilmektedir. Dolayısıyla talep, ya mevcut İHA'ların faydalı yük kapasitesini artırmak ya da daha yüksek faydalı yük kapasitesine sahip yeni İHA'lar geliştirmektir. İHA'ların üzerinde bulunan nükleer cihazlar ile dayanıklılıklarının yeni boyutlara çıkarılması ve böylece ikinci vuruş kabiliyetinin yanı sıra savaşan taraf üzerinde caydırıcı bir etki yaratılması hedeflenmektedir.

Etik konular: İHA kullanımındaki en büyük etik sorun tali hasardır. Bir İHA operatörünün binlerce mil uzakta bir kontrol odasında otururken yerdeki durumu tam olarak yargılayamadığı yönünde sık sık eleştiri yapılır. Kutlama vesilesiyle havadan ateş etme kültürünün yaygın olduğu Afganistan'da düğün törenlerine füze atılması bu tür senaryolardan sadece bir tanesi. Brookings'in 2009'da yaptığı bir araştırma, "sayı, öldürülen her militan için 10 kadar sivilin de öldüğünü gösteriyor" sonucuna vardı (Byman, 2009). "Eleştirmenler, bunun tıpkı "video oyunu senaryosu" gibi olduğu yönündeki endişelerini dile getirdiler ve "operatörler artık savaş alanı silahlarını dünyanın öbür ucundaki kontrol odalarından, sanki bir video oyunu oynuyormuş gibi güvenle manipüle edebiliyorlar" (Muhammad Nadeem Mirza, Irfan Hasnain Qaisrani, Lubna Abid Ali ve Ahmad Ali Naqvi, İnsansız Hava Araçları: Oluşmakta Olan Bir Devrim). Öte yandan, pilotlu uçaklardan ve bazen yüzlerce mil uzakta konuşlanmış uçak gemilerinden atılan füzelerin neden olduğu kayıplarla karşılaştırıldığında, sivil kayıpları en aza indirmek için cephanelikte bulunan en iyi silahların bunlar olduğu inkâr edilemez. İnsanlı savaş uçakları, son derece sınırlı bir süre içinde savaşan tarafların mevzilerini vurabilir. Ancak İHA operatörleri, yerdeki faaliyetleri izlerken aylarca bekleyebilir, saldırıyı başlatmak için uygun zamanı kollayabilir ve böylece minimum sayıda sivil kayıpla operasyonu bitirebilir. Bu konuyla ilgili başka bir sorun ise, uluslararası hukukun ihlalidir. Bush Doktrini'nin önemli kısımlarından biri olan egemenlik şartlarını yeniden şekillendirme maddesi, ABD'ye dünyanın birçok yerinde İHA operasyonları yapma yetkisi verdi. Egemenlik, 11 Eylül sonrası dönemde özellikle daha zayıf devletler için oldukça göreceli bir terim haline geldi. Akademisyenler, uluslararası hukuka ve uluslararası toplumun normlarına yönelik ciddi bir tehdit olduğu gerekçesiyle bu duruma karşı çıkıyorlar. Herhangi bir yargılama yapılmadan hedef alarak öldürme, çok fazla etik ve yasal sorunu gündeme getirdi.

6.10 İHA Geliştirme

Çin'de İHA'lar teslimatlar için kullanılıyor ve pandemi sırasında Çin ülke genelinde çok katı tecritler uyguladığı için hayati önemde olduklarını kanıtladılar. EHang, ZTO Express ve JD.com gibi şirketler artık taşıyabilecekleri miktarı artırmak için daha büyük İHA'lar geliştirmek de dahil olmak üzere Çin genelinde drone dağıtım sistemlerini geliştiriyorlar. Ayrıca yakın gelecekte yolcu taşıyan İHA'ların kullanılmasına izin verecek düzenlemeler de geliştiriliyor. Yeni dikey kalkışlı İHA'lar hala geliştirme ve deneme aşamasındadır, ancak önümüzdeki birkaç yıl içinde dronlar yolcu taşıırken görülebilir. Hem ABD'de, hem AB'de hem de Çin'de, uzun mesafeli İHA'ları ve otonom olarak çalışan İHA'ları düzenleyecek yasal hazırlıklar yapılıyor.

Artan bir ilgi ve gelişme alanı da, özellikle uzak bölgelere yardım sağlamada, ilk müdahale amaçları için kullanılan İHA'lar olacaktır. Benzer şekilde, yakın zamanda satılan Uber Air, ABD'de hava İHA taksileri konseptini geliştiriyor, ancak bunun için hem düzenleme hem de altyapı muhtemelen Çin'deki değişikliklerden birkaç yıl daha sonra olacak. Bununla birlikte, Çin'in insansız taksiler ve teslimat sistemlerinde önemli ilerleme kaydettiği göz önüne alındığında, ABD son zamanlarda daha fazla teknolojik yatırım yaparak ve yasal düzenlemelerin yapılmasına izin vererek Çin'i yakalamaya çalışmaktadır.

Özellikle İHA'ların sayısı ve teknolojideki hızlı değişimin belirginleşmesiyle artık birçok ülkede İHA'larla ilgili yasal düzenleme değişiklikleri hızlanmaya başlıyor. İHA'lar başta ABD ve Çin olmak üzere birçok ülke için, daha geniş ekonomik savaşın ve rekabetin bir parçası olan bir yarış olarak görülüyor. Tüketiciler için, yakın gelecekte İHA'ların daha yaygın hale gelmesi ve paket teslimatı veya yardım gibi görevlerde kullanımı muhtemeldir. Muhtemelen İHA'lara binen yolcuları görmemize birkaç yıl kaldı, yasal düzenlemelerdeki değişiklikler, çok da uzak olmayan bir gelecekte bunu gerçeğe dönüştürmek için Avrupa, ABD ve Çin'de yasal hazırlıkların devam ettiğini gösteriyor.

Bizi insansız hava araçlarına götüren teknolojik gelişme sadece bunlarla sınırlı kalmadı. Dronlar askeri amaçlardan daha fazlası için kullanılabilecek kadar genişledi. Son gelişmeler dron kullanımının tüm meslek dallarına yaygınlaştırılmasının kesintisiz devam ettiğini gösteriyor.

Başlıca drone teknolojisi gelişmelerinden bazıları aşağıdakileri içerir.

6.11 İniş Özellikleri

En yeni dronlar daha iyi iniş özelliklerine sahiptir. Kullanıcıya daha fazla kamera erişimi ve daha iyi video çekimi sağlayabilir ve kullanıcının iniş yerini daha iyi değerlendirmesine olanak tanır. Bu, askeri amaçlar için çok iyi bir özelliktir.

Bunun dışında bu özellik, dronun bacaklarının ona zarar verebilecek nesnelere takılmadan eşit ve hızlı bir şekilde açılmasını sağlar. Hızlı bir iniş dronun daha verimli çalışmasını sağlar ve kullanıcının cihaz üzerinde daha iyi kontrole sahip olduğunu gösterir. Ayrıca, daha iyi iniş özellikleri, dronun iniş yerlerinin yakınında herhangi bir fiziksel hasardan kaçınmasını sağlar.

6.11.1 Gelişmiş Kontrol Sistemi

Etkili bir kontrol sistemine sahip olmak, drone teknolojisinde her zaman bir sorun olmuştur, ancak işler son zamanlarda çok iyi bir hal aldı. Bugünlerde İHA Eğitimi Kursları, dronun daha iyi kontrol edilmesini sağlıyor ve genel kontrol özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiler. Daha da heyecan verici olan şey, dronların bir akıllı telefonda hatta bir tableten herhangi biri tarafından kontrol edilebilmesidir. En son geliştirilen dronlar, kol saatleri kullanılarak bile kontrol edilebilir. Dronlarının yabancı şahıslar tarafından ele geçirilebileceğinden korkan kişiler, bu özelliği kullanarak kontrolü her zaman ellerinde tutabilirler. Ayrıca dronun çevrede bulunan herhangi biri tarafından hasara uğratılması da engellenmiş olur.

6.11.2 Çocuklar için Dronlar

Daha önce de belirtildiği gibi, dronlar sadece casusluk veya askeri amaçlar için kullanılmıyor. Son zamanlarda kullanımları hayatın hemen her alanına yayılmıştır. Çocuklar için yeni bir oyuncaktır ve harika katılım ve motor becerileri geliştirme fırsatları sunar. Çocuğunuz için bir dron alırsanız, onu saatlerce meşgul edecektir. Fotoğrafçılığa ilgi duyan çocuklar akıllı telefonlarını kullanarak dron kullanabilir ve onları kontrol edebilirler. Bu gelişmelerin sağladığı etki ve rahatlık, çocukların şimdiye kadar kullandıkları hiçbir oyuncakla kıyaslanamaz.

6.11.3 Çarpışma Kontrolü

Daha önceki dronların nesnelere çarpmalarını engelleyebilecek hiçbir özelliği yoktu. Bu da, kişilerin ve yetkililerin büyük maddi kayıplarına sebep olan çok sayıda dron hasarına neden oldu.



Şekil 136. Ele İnen İHA

Çarpışma kontrolünün ortaya çıkması bu sorunu tamamen ortadan kaldırdı. Çarpışma kontrolü, dron çarpabileceği bir nesneye çok yaklaştığında kullanıcıya bir uyarı gönderilmesini sağlar. Bu uyarı sistemi, kullanıcıyı dronun hasar görmemesi için yönünü değiştirmesi konusunda uyarır. Kontrol cihazlarından gönderilen uyarı, dronun herhangi bir maddi veya fiziksel hasara uğramamasını sağlar.

7. Havacılık Meteorolojik Raporları

Havacılık meteoroloji istasyonlarında gözlemler, hava seyrüseferinin meteorolojik güvenliğinden sorumlu otorite ile hava aracı kullanıcısı arasında özel bir anlaşma ile aksi kararlaştırılmadıkça, günün 24 saati gerçekleştirilir.

Düzenli izlemeden elde edilen verilere dayanarak, aşağıdaki bilgileri içeren düzenli havacılık raporları derlenir:

- ✂ Rapor tipi tanımı;
- ✂ Havaalanı konum işareti;
- ✂ Gözlem süresi;
- ✂ Yer rüzgarının yönü ve hızı;
- ✂ Görüş mesafesi;
- ✂ Pist boyunca görüş (gerekliyse);
- ✂ Şimdiki zaman;
- ✂ Bulutların miktarı ve türü (kısaltmalarla birlikte açık metin biçiminde, raporlarda yalnızca havaalanındaki veya yakınındaki kümülönimbüs bulutları gösterilir);
- ✂ Bulut taban yüksekliği;
- ✂ Hava sıcaklığı ve çiğ noktası sıcaklığı;
- ✂ Deniz seviyesi hava basıncı değeri (QNH);
- ✂ Havaalanı düzeyinde hava basıncı değeri (QFE).

Düzenli gözlem raporları kullanıcılara kod şeklinde veya kısaltmalarla açık metin şeklinde sunulabilir.

7.1 METAR Raporu

METAR adı Fransızcadan, havacılık için düzenli bir hava durumu raporu olan kısaltılmış MÉTéorologique Aviation Régulière ("message d'observation météorologique régulière pour l'aviation") teriminden gelmektedir.

1996 yılında dünya standardı olarak kabul edilmiştir. Kısaltılmış İngilizce kelimeler kullanıldığı için anlaşılması nispeten kolaydır.

METAR, havalimanları arasında değiş tokuş edilen, havalimanının düzenli havacılık-meteorolojik raporu için aşağıdaki gibi kullanılan terimdir.

		METAR	Rapor türünün tanımlanması
		CCCC	Havalimanları bulucu
(T'T'/T'dT'd)	RWY'de hava sıcaklığı	GGgg	Raporun saat ve dakikası
	RWY'de çiğ noktası sıcaklığı	ddd	Derece cinsinden rüzgâr yönü
		ff	Knot cinsinden rüzgâr hızı
		fmfm	Maksimum rüzgâr hızı
(PhPhPhPh)	Basınç QNH	VVVV	En düşük görünürlük
		R	Grup göstergesi
		VrVrVrVr	RWY'de görünürlük
		DrDr	Görüşün ilgili olduğu RWY yönü
		W'W'	Gözlem saatlerinde önemli zaman
		Ns	Bulut katmanı miktarı
		CC	Bulut katmanı türü
		hshshs	Bulut katmanının yüksekliği

7.1.1 METAR raporundaki kelime gruplarının açıklaması

☞ CCCC - METAR raporunun derlendiği havaalanının dört harfli göstergesi; ilk harf her zaman L'dir (bulucu), ikinci harf İngilizce olarak ifade edilen durumun ilk harfidir; son iki harf havalimanının adından alınmıştır (LYBE = Belgrad).

☞ dddff / fmfm - bu grup genellikle beş basamak içerir; bunlardan ilk üçü rüzgar yönünü 0° ila 360° (ddd) cinsinden ve diğer iki rüzgar hızını knot (ff) cinsinden gösterir; bir gruptaki yedi basamak, yalnızca rüzgar sert estiğinde (fmfm) verilir.

☼ VVVV - havaalanında metre cinsinden ifade edilen yatay görüş grubu; bu her yönde aynı değilse en küçük değeri verilir. 9999, 10km üzerindeki görüş mesafesini gösterir.

☼ RVrVrVrVr / DrDr – RWY boyunca görünürlük grubu, burada (R) bu grup için harf atamasıdır, DrDr, görünürlüğün atıfta bulunduğu RWY uzantısının yönü anlamına gelir (daha fazla RWY'ye sahip havaalanları için verilir).

☼ W'W'- önemli olayları kodlamak için, havaalanındaki gözlem sırasında, İngilizce'deki ilk iki harfi esas olarak temsil eden iki harfli işaretler kullanılır.

☼ NsCCHshshs – bulut grubu, burada Ns, raporda bu gruba verilen bulut miktarını gösterir. CC bir bulut türüdür ve hshshs bulut tabanının yüksekliğidir. Bulut türü, raporda zaten bildiğimiz bulutların Latince kısaltmalarıyla belirtilmiştir. CI - cirrus, AC - altocumulus, NS - nimbostratus, CB - cumulonimbus vb. Bulutların yüksekliği 30 m'lik (100 fit) eşit aralıklarla verilir. Bir bulut grubu, havaalanının üzerinde daha fazla bulut katmanı olması durumunda birkaç kez tekrarlanabilir, ardından bulut grubuyla yapılan raporda, miktarına bakılmaksızın en alttaki bulut katmanı verilir, miktarı 3/8 veya daha fazla ise ikinci üst katman, miktarı 5/8 veya daha fazla ise üçüncü yüksek katman verilir.

☼ Cb, miktar ne olursa olsun her zaman şifrelenir

Sis veya diğer sınırlı görüş koşulları nedeniyle gökyüzü görünmez olduğunda, bulut grubu şu şekilde kodlanır: 9 // 002 = gökyüzü görünmez; dikey görüş 60m. Dikey görünürlük için veri yoksa grup 9 // xxx ile şifrelenir.

☼ T'T' / T'dT'd - hava sıcaklığı ve çiy noktası sıcaklığı grubu.

☼ PhPhPhPh - dört veya üç basamaklı verilen QNH basınç grubu.

Havaalanında aşağıdaki meteorolojik koşullar geçerli olduğunda:

- ☼ Görüş mesafesi 10 km veya daha fazla ise;
- ☼ 1500 m'nin altında veya sektör yüksekliğinin en yüksek seviyesinin (her havalimanı için belirlenen) altında bulut yoksa;
- ☼ Cb yoksa;
- ☼ Yağış, gök gürültüsü, ince bir sis veya kar tabakası yoksa, VVVV R V rV rV rV / DrDr, W'W', Ns CC hshshs grubu yerine tavan ve görüş tamam anlamına gelen "CAVOK" kelimesi verilir. (Bulut taban yüksekliği ve görünürlük iyi).

METAR raporunda, raporun verildiği zaman işaretinden sonra AUTO kelimesi görünüyorsa, raporun Otomatik Meteoroloji İstasyonu tarafından düzenlendiği anlamına gelir.

- ☼ AUTO - Otomatik meteoroloji istasyonu
- ☼ Raporda bu kod yoksa, raporun bir kişi tarafından derlenip düzenlendiği anlamına gelir.
- ☼ AUTO kodu COR kodu ile değiştirilirse herhangi bir nedenle düzeltilmiş METAR raporu verilmiş demektir.

Niteleyici		Hava fenomeni		
Yoğunluk veya hız 1	Açıklama 2	Yağış 3	Gölge 4	Diğer 5
Zayıf Ilıman (Not 2) + Güçlü WCyakınlarda (Not 3)	MI Yüzeysel PR Kısmi BC Pramen SH Sağanak TS Fırtına FZ Don	DZ çiy RA Yağmur SN Kar IR Buz kristalleri GR Grad UP Bilinmeyen yağış	BRAlacakaranlık FG Sis FU Duman DU Toz SA Kum HZ Sis	PO Toz veya kum girdapları SQ Kasırga FC Kasırga (Not 3) SS Kum Fırtınası DS Toz fırtınası

Notlar:

1. Zaman grupları, yukarıdaki tablodan 1-5 sırasına göre oluşturulur, yani Yoğunluk, ardından Açıklama, ardından Yağış, vb. Örneğin, şiddetli bir sağanak +SHRA olarak kodlanacaktır.
2. Orta şiddette sembol kullanılmaz.
3. Bir kasırga her zaman +FC olarak kodlanır.

7.1.2 Normal rapor örneği

Belgrad havaalanı için METAR

METAR LYBE 1630 24015 Kmh 0600 R1000 42 FG 3SC010 17/16 1018

Belgrad için kısaltılmış açık metin raporu

MET REPORT LYBE 1630 240/15 Kmh VIS 600M RVR 1000M FG 3/8 300M T17 DP16 QNH 1018

Her iki raporun anlamı: 1630 UTC'de Belgrad Havaalanı için düzenli rapor; yer rüzgâr yönü 240 derece; rüzgâr hızı 15 km/s; görüş 600 m; RVR 1000 m; sis; 300 m'de Stratocumulus cinsinden 3/8 bulut; hava sıcaklığı 17°C; çiğ noktası sıcaklığı 16°C; QNH 1018 hPa.

7.2 ÖZEL Rapor (SPECI)

Düzenli meteorolojik gözlemlere ek olarak, havacılık meteoroloji istasyonlarında özel meteorolojik gözlemler yapılmaktadır. Elde edilen özel gözlem verileri, havalimanı hava trafik yönetim hizmetlerine yönelik özel raporların derlenmesinde kullanılmaktadır.

Özel gözlemlerin sonuçlarına ilişkin raporlar, belirli meteorolojik unsurlarda bir değişiklik olması durumunda aşağıdaki şekilde seçilen özel raporları derlemek için de kullanılabilir:

- ☼ rüzgarın yönü ve hızı değiştiğinde (rüzgarlar dahil);
- ☼ görüş mesafesi ve pist boyunca görüş mesafesi belirli sınırlara ulaştığında;
- ☼ başlangıçta, gök gürültülü fırtına, dolu, sulu kar, soğuk yağışlar, sürüklenen kar, toz ve kum fırtınaları ve kasırgalar gibi durumların kesilmesi veya yoğunluğunun değişmesi.

SPECI, özel bir havacılık meteorolojik rapordur. METAR raporu ile aynı forma sahiptir, sadece bulut tabanının yüksekliği veya görüş veya rüzgar bozulduğunda, yani belirli sınırlara yükseldiğinde özel bir uyarı şeklinde derlenir ve iletilir. Her yarım saatte bir meteorolojik unsur ve olayların gözlemlendiği ve bu gözlemlere istinaden METAR raporları düzenlenip iletildiği havalimanlarında; SPECI raporları derlenmez.

7.2.1 Seçilen özel rapor örneği

Niş havaalanı için SPECI

METAR LYNI 1115 05025 / 37KT 2500 95TS 7CB005

Kısaltılmış açık metin olarak bildirim:

METAR LYNI 1115 050 / 25KT MAX37 MNM10 VIS 2500M TS 7/8 CB 500FT

Her iki raporun anlamı: 1115 UTC'de Nis havaalanları için seçilmiş özel rapor; yer rüzgâr yönü 50 derece; rüzgâr hızı 25 deniz mili, 37 deniz miline kadar sert rüzgarlar; görüş 2500 m; fırtına, 150 fitte Cumulonimbus cinsinin 7/8 bulutu

7.3 Havacılıkta Meteorolojik Tahminler

Hava trafiğinin meteorolojik güvenliğinde en önemli görevlerden biri, uçağın ani uçuşu sırasında meydana gelen olayları ve meteorolojik unsurları tahmin etmektir. Bu seviyeler için önemli hava haritalarının hazırlanması, modelden elde edilen meteorolojik alanların tahminleriyle başlar. Tahminler bulut örtüsü, görüş mesafesi, donma seviyesi ve türbülansı içermelidir. Dikey-yatay görüşü ve bulut tabanını hesaplamak için rüzgar ve bağıl nem değerleri bilgisi gereklidir. Donma seviyesi, ilgili topografya tabakasının kalınlığı kullanılarak MOS yöntemi aracılığıyla hesaplanır.

Türbülans, sıcaklık ve orografik etkilerin oluşumunu tahmin etmek için sıcaklık adveksiyonu ve rüzgâr profili kullanılır. Meteorolojik unsurların ve fenomenlerin kısa vadeli veya çok kısa vadeli tahminleri, bir saatten bir güne kadar bir süre için uçuş planlaması ve acil uçuş durumu için kullanılır. Havacılık hava tahminleri havaalanı, havaalanı bölgesi, iniş-kalkış, hava yolları ve uçuş alanı için hazırlanır.

Tüm bu tahminler, bulutların özelliklerini (miktar, yükseklik, alt bulut tabanı), yağış, önemli olaylar, yatay görüş mesafesi, rüzgâr yönü ve hızı, hava sıcaklığı, izotermal yükseklik 0°C, tropopozun konumu ve yüksekliğini ve bulutların dağ kapsamını içerir.

7.3.1 Kalkış Tahmini

Meteoroloji otoriteleri tarafından belirlenen meteoroloji ofisi tarafından hazırlanmalıdır.

Kalkış tahmini yerel anlaşmaya uygun olarak, belirli bir zaman dilimine atıfta bulunmalı ve RWY (pist) üzerindeki rüzgar ve değişiklikleri, sıcaklık, basınç (QNH) ve diğer unsurlarla ilgili verilerle birlikte RWY üzerinde beklenen hava koşulları hakkında bilgi içermelidir.

Kalkışa ilişkin meteorolojik tahmin, operatörlere ve uçuş ekibi üyelerine, talep etmeleri halinde, planlanan kalkış saatinden önceki 3 saat içinde gönderilmelidir.

Kalkış tahminlerini hazırlayan meteoroloji ofisleri, verileri güncel tutmalı ve gerektiğinde uygun güncellemeleri derhal yayınlamalıdır.

RWY (pist) rüzgârı, sıcaklık, basınç ve mutabık kalınan diğer unsurlar için kalkış tahmininde değişiklik yayınlama kriterleri, meteoroloji yetkilileri ve ilgili operatörler arasında kararlaştırılmalıdır. Kriter, ilgili düzenleme hükümlerine göre havalimanları için düzenlenen özel raporlar ile uyumlu olmalıdır.

7.3.2 Bölge ve rota için tahmin

Bu tahmin irtifa rüzgârı, irtifa sıcaklığı, rota üzerindeki bulutlara bağlı olan önemli hava olaylarını içermelidir. Diğer öğeler gerektiği gibi eklenebilir. Bu bilgi, zaman, irtifa ve coğrafi bölge açısından planlanan uçuşu kapsamalıdır.

Bölge ve güzergâh için tahmin hazırlayan meteoroloji ofisleri, değişiklikleri sürekli izlemeli ve gerektiğinde ek raporlar yayınlamalıdır.

7.3.3 Havaalanı için tahmin

Meteoroloji otoriteleri tarafından belirlenen meteoroloji ofisi tarafından hazırlanır.

Havaalanı için tahmin belirli bir zamanda yapılmalı ve belirli bir süre için havaalanında beklenen meteorolojik koşullar hakkında kısa raporları içermelidir.

İki tür havaalanı hava durumu tahmini vardır:

- ✂ Düzenli METAR meteorolojik raporuna bağlı olarak mevcut hava durumuna dayanan iki saatlik hava durumu tahminleri. Bu tahminlere **trend tahminleri** denir.
- ✂ Bir hava limanının 9, 18 veya 24 saat geçerliliği olan hava durumu tahminleri **TAF tahminleri** adı altında verilmektedir. Bu tahminlerde yayınlanma anları ile kullanılmaya başlamaları arasında belli bir süre vardır.

Havaalanı için hava tahminini derlemeye hazırlanırken şunlar gereklidir:

- ✂ tahminin derlendiği tarihten itibaren ilgili zaman diliminde ve önceki zamanda havalimanında ve geniş çevresinde gerekli tüm meteorolojik unsurların boyutunun ölçülmesi veya hesaplanması yoluyla elde edilen ilk meteorolojik koşullara ilişkin bilgilere sahip olmak;
- ✂ belirli meteorolojik unsurları yerel ölçekte belirleyen yasalar ve kurallar hakkında bilgi sahibi olmak

Havalimanı tahmini ve ekleri, TAF kod formundaki şablona uygun olarak düzenlenmeli ve listelenme sırasına göre aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- ✂ Kod adı TAF / TAF AMD;
- ✂ Konum işareti;
- ✂ Tahminin yayınlama tarihi ve yeri;
- ✂ Varsa, eksik tahminin bir göstergesi;
- ✂ Tahminin geçerlilik tarihi ve süresi;
- ✂ Mümkün olduğunda iptal edilen tahminin işareti;
- ✂ Zemin rüzgarı
- ✂ Görüş mesafesi;
- ✂ Fenomenler;
- ✂ Bulut oranı;
- ✂ Geçerlilik süresi boyunca bu unsurların bir veya daha fazlasında beklenen önemli değişiklikler

Bölgesel havacılık anlaşmalarına uygun olarak havalimanı tahminine ek unsurlar dahil edilecektir.

İlk meteorolojik koşulların analizi için, sınırlı sayıda gözlenen veya ölçülen meteorolojik unsurların kaydedildiği bir yer haritası ve meteorolojik parametrelerin dikey dağılımı hakkında veri sağlayan yükseklik haritaları kullanılır.

Havalimanı için tahmin hazırlayan meteoroloji ofisleri, bunu sürekli olarak izlemek ve gerektiğinde uygun ekleri yayınlamakla yükümlüdür. Meteorolojik mesajın uzunluğu ve tahminde gösterilen değişiklik sayısı minimumda tutulmalıdır.

Havaalanı hava tahminleri ve bunların düzeltmeleri, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından öngörülen TAF anahtarına göre (kısaltmalarla açık metin biçiminde), ilgili meteoroloji yetkilileri arasında anlamı üzerinde anlaşmaya varılan teleprinter işaretleri kullanılarak havaalanı havacılık meteoroloji hizmetleri arasında değiş tokuş edilir.

7.3.4 İniş hava tahmini

Hazırlık, yetkili meteoroloji otoritesi tarafından belirlenen bir meteoroloji bürosudur. Bu tür tahminler, yerel kullanıcıların ve havaalanından yaklaşık bir saatlik uçuş mesafesinde bulunan uçuş mürettebatının gereksinimlerini karşılar.

İniş tahmini, bölgesel havacılık anlaşmalarıyla belirlenen TREND tahminleri şeklinde hazırlanacaktır.

TREND tahmini, yerel düzenli veya yerel özel rapora, METAR veya SPECI raporuna eklenen, o havaalanındaki meteorolojik koşullarda beklenen önemli değişikliklerin bir özet raporundan oluşur. TREND tahmininin geçerlilik süresi, iniş tahmininin bir parçası olan raporlama tarihinden (yerel düzenli rapor, yerel özel rapor, METAR veya SPECI) itibaren 2 saat olacaktır.

7.3.5 TAF ve TREND Tahmini

TAF, havaalanı için kodlanmış bir hava tahminidir ve METAR raporundaki temel harf gruplarının TAF tahmininde tekrarlanmasıyla uluslararası bir anahtara göre derlenir.

Organize tahmin hizmetine sahip havalimanları, 9 saatte TAF tahminleri yayınlar. Buzlanma ve türbülans tahminini deşifre etmek için anahtarlarla birlikte TAF havaalanı tahmini aşağıdaki forma sahiptir:

Bilgi	Havaalanı işareti	Süre		Rüzgar			Yatay görüş	Olaylar	Bulutlar		
		OD	DO	yön	hız	max			miktar	tür	yükseklik
TAF	CCCC	G ₁ G ₁	G ₂ G ₂	ddd	ff	f _m f _m	VVVV	W'W	Ns	C	hshshs

Sıcaklık			Buzlanma				Türbülans			
gösterge	süre	sıcaklık	gösterge	buzlanma yoğunluğu	yükseklik	kalınlık	gösterge	tür	yükseklik	kalınlık
(0	G _f G _f	T _f T _f)	(6	Ic	h ₁ h ₁ h ₁	t _e)	(5	B	h ₁ h ₁ h ₁	t _e)

Anahtar Kod	Ic (kod 1733)	B (kod 0300)
	Buzlanma yoğunluğu	Türbülansın türü ve yoğunluğu
0	Buzlanma yok	Türbülans yok
1	Zayıf buzlanma	Zayıf türbülans
2	Bulutta zayıf buzlanma	Açık havada orta, ara sıra
3	Yağışta zayıf buzlanma	Açık havada ılımlı, sık
4	Orta derecede buzlanma	Bulutta orta, ara sıra
5	Bulutta orta derecede buzlanma	Bulutta ılımlı, sık
6	Yağışta orta derecede buzlanma	Açıkta orta, ara sıra
7	Şiddetli buzlanma	Açıkta güçlü, sık
8	Bulutta şiddetli buzlanma	Bulutlarda güçlü, ara sıra
9	Yağışta şiddetli buzlanma	Bulutlarda güçlü, sık

7.3.6 Havaalanı tahmini örnekleri

a) Kod biçiminde TAF

TAF LYBE 0918 13010 9000 6Sc020 GRADU 1316 3000 50DZ 8St006

6) Kısaltmalı açık metinde TAF

FCST LYBE 09/18 130/10 KT VIS 9KM 6/8 2000FT GRADU 13/16 VIS 3000M DY 8/8 600FT

Bilgi

TAF: havaalanı tahmini

LYBE: Belgrad havaalanı;

0918: 0900 ile 1800 saat UTC arasındaki tahminin önemi

13010: yer rüzgarı 130° 10 deniz mili;

9000: yatay görüş 9km

6Sc020: 2000 ft'de 6/8 Sc bulut (açık tip, bulut tipini atlar)

Kısaltmalı açık metin biçimindeki havaalanı tahmini FCST ile ve düzeltmesi AMD FCST ile işaretlenmelidir. Kısaltmalı açık metin şeklinde hava limanı tahminlerinde kullanılan unsurların ve terminolojinin, birimlerin ve ölççeklerin sırası, aynı havaalanı için tarifeli havacılık raporları ve özel hava raporlarında kullanılanlarla aynı olmalıdır.

TREND iniş tahmini, bir havaalanı için düzenli, özel veya seçilmiş özel bir rapordan oluşur ve bu rapora, o havaalanındaki meteorolojik koşulların beklenen eğiliminin bir özeti eklenir. TREND iniş tahmininin geçerlilik süresi, raporun ilgili olduğu ve iniş tahmininin bir parçasını oluşturan zamandan itibaren 2 saattir.

TREND iniş tahminleri, yer rüzgârı, görüş mesafesi, önemli hava durumu ve bulutlar gibi bir veya daha fazla öğedeki değişiklikleri gösterir. Yalnızca değişiklik beklenen öğeler dahil edilir. Herhangi bir değişiklik beklenmiyorsa, bu hem METAR anahtarında hem de düz metin sürümünde NOSIG (Önemli Değişiklik Yok) ifadesiyle belirtilir.

Dört öğeden herhangi birinin değerinde belirli bir değişiklik tahmin ediliyorsa, bu, aşağıdaki gruplar kullanılarak belirtilir:

TTTTT GG ggHR dddff/fmfm VVVV w'w' NsCCHshshs

✂ TTTTT - değişim göstergesi

✂ GG ggHR – TT = FM (başlangıç), TL (bitiş) veya AT (u) harf göstergelerinden biri tarafından boşluksuz olarak verilen zaman grubu, tahminin başlangıç (FM) veya bitiş (TL) zamanını veya belirli prognoz koşullarının beklendiği zamanı (AT) belirtmek için kullanılır.

CAVOK kısaltmasının kullanılma olasılığı da dahil olmak üzere diğer kısımlar METAR raporundakiyle aynı anlama sahiptir.

BECMG değişim göstergesi, değişimin şekline bakılmaksızın, meteorolojik koşullarda belirtilen kriterlerin belirli eşiklerine ulaşan veya bunları aşan beklenen değişiklikleri tanımlamak için kullanılır.

TREND tahminleri için belirtilen kriterlerin belirli eşik değerlerine ulaşan veya bunları aşan meteorolojik koşullardaki değişiklikler aşağıdaki şekilde belirtilmektedir:

✂ değişikliğin TREND tahmin döneminde başlayıp tamamen biteceği tahmin edildiğinde: değişikliğin başlangıcını ve sonunu belirtmek için ilgili zaman gruplarıyla birlikte ayrı ayrı FM ve TL harf göstergelerinin ardından BECMG değişim göstergesi kullanılır.(örneğin, 1000'den 1200 UTC'ye TREND tahmin dönemi için: BECMG FM1030 TL1130 biçiminde);

- ✂ değişikliğin TREND tahmin döneminin başında gerçekleşeceği ve o dönemin bitiminden önce sona ereceği tahmin edildiğinde; BECMG değişiklik göstergesini kullanarak, ardından bu değişikliğin tamamlandığını belirtmek için yalnızca TL harf göstergesi ve ilişkili zaman grubu (FM harf göstergesi ve ilişkili grup atlanmıştır) kullanılır ( rn. BECMG TL1100);
- ✂ TREND tahmin döneminde değişikliğin gerçekleşeceği zamanı belirtmek mümkün olduğunda; o değişikliğin zamanını belirtmek için BECMG değişim göstergesi, ardından AT harfi göstergesi ve zaman grubu kullanılır. ( rn. BECMG AT1100);
- ✂ Değişikliklerin UTC gece yarısı olacağı tahmin edildiğinde, saat FM ve AT 2400 ve TL ile birleştirildiği şeklinde gösterilir.

Değişikliğin TREND tahmin döneminin başında gerçekleşeceği ve bu s renin sonunda tamamlanacağı tahmin edildiğinde veya değişikliğin TREND tahmin döneminde gerçekleşeceği tahmin edildiğinde ancak bu değişiklik için zaman olmadığında (belki de hemen sonra, o periyodun başında, ortasında veya sonunda), değişiklik yalnızca BECMG değişiklik göstergesi ile gösterilir. (FM ve TL veya AT harfli göstergeleri ve ilgili zaman grupları çıkarılmıştır).

Değişim göstergesi olarak resmi kısaltmalar (GRADU, RAPID, TEMPO, INTER ve TREND) aşağıdaki gibi kullanılmaktadır:

- ✂ CITY, değişikliklerin tüm prognostik dönem boyunca veya belirli bir bölümünde yaklaşık olarak sabit bir oranda meydana gelmesi bekleniyorsa kullanılır;
- ✂ Değişikliklerin yarım saatten kısa bir sürede gerçekleşmesi bekleniyorsa CITY yerine RAPID kullanılır;
- ✂ TEMPO, değişikliklerin bir saatten daha kısa sürmesinin beklendiği ve değişikliklerin bu raporda verilen geçerli koşullar için yeterince seyrek meydana geldiği durumlarda kullanılır;
- ✂ Değişikliklerin kısa s relerde sık sık meydana gelmesi bekleniyorsa, koşullar rapordakiler veya tahminin bir önceki b l m ndekiler ya da tahmindekiler arasında sürekli olarak dalgalanacaksa INTER kullanılır;
- ✂ CITY, RAPID, TEMPO ve INTER terimlerinden hiçbiri uygulanmazsa TREND kullanılacaktır.  nceki b l m de başka bir gösterge kullanılmışsa TREND kullanılmayacaktır.

NSW ( nemli hava durumu yok) kısaltması, W'W' grubu yerine önemli meteorolojik olayların sona erdiğini belirtmek için kullanılır. "Açık" hava durumuna geçiş değişikliğini belirtmek için, SKC (gökyüzü açık) kısaltması kullanılır. 1500m'nin (5000ft) altında veya en yüksek minimum sektör y ksekliliğinin (hangisi daha büyükse) altında hiç bulut olmayacağı tahmin

edildiğinde, Cumulonimbus cinsi bulutlar rapor edildiğinde ve CAVOK veya SKC yanıt vermediğinde, NSC kısaltması kullanılır (önemli bulut yok).

RMK göstergesi, anahtarın ulusal düzeyde bir karara dayalı olarak raporda yer alan ve uluslararası değişime yönelik olmayan bilgileri içeren bölümünün başlangıcını gösterir.

Kısaltmalar ile kodlanmış ve açık metin biçiminde iniş için bir tahmin örneği - METAR raporuyla sağlanan TREND tahmini:

Kodlanmış biçimde iniş tahmini:

METAR LYBE 1930 05009KT 5000 1023 TEND 3000 10 BR

Açık metin şeklinde iniş tahmini:

MET REPORT LYBE 1930 050/09 VIS 500M QNH 1023 TENF 3000M BR

Bu örnek, aynı tahmini yalnızca iki farklı biçimde gösterir, dolayısıyla anlam her ikisi için de geçerli olacaktır:

METAR: güncel hava durumu raporu;

LYBE: Belgrad Havalimanı;

1930: at 1930 UTC;

05009KT: yer rüzgarı 050 ° hız 9 deniz mili (knot);

5000: yatay görüş mesafesi 5 km;

1023: deniz seviyesinde hava basıncı 1023 hPa;

TEND: sonraki iki saat için zamanın eğilimi;

3000 10 BR: siste yatay görüş mesafesi 3000 m.

8. Kaynakça

Quan Quan, Xunhua Dai, Shuai Wang – Multicopter Design and Control Practice 2019.

Quan Quan – Introduction to Multicopter Design and Control 2017

Oral lectures by Mr. General Milan Orasanian at an open webinar

<https://www.dw.com/en/a-guide-to-military-drones/a-39441185>

<https://www.avweb.com/aviationnews/amazon-formally-applies-for-drone-delivery/>

<https://www.euractiv.com/section/agriculture-food/news/eu-farmers-unlock-potential-of-agricultural-drones-or-risk-falling-behind>

<https://dronevideos.com/how-drones-will-be-used-in-the-future-of-the-film-industry>

<https://www.rcgeeks.co.uk/blogs/news/eachine-wizard-x220s-full-setup-guide>

<http://cad.gov.rs/> <https://www.easa.europa.eu/> <https://www.eurocontrol.int/>

<http://dronelawjapan.com/> [https://www.productionhub.com/blog/post/drones-and](https://www.productionhub.com/blog/post/drones-and-their-impact-in-the-film-industry)

[their-impact-in-the-film-industry https://www.suasnews.com/2017/02/amazon-delivery-parachute-patent/](https://www.suasnews.com/2017/02/amazon-delivery-parachute-patent/)

<http://cad.gov.rs/upload/Propisi/2020/Pravilnik%20o%20bespilotnim%20vazduhoplovima.pdf>

[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7200.23A_Unmanned_Aircraft_Systems_\(UAS\).pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7200.23A_Unmanned_Aircraft_Systems_(UAS).pdf)

<https://terra-drone.eu/en/articles-en/eu-drone-regulations-explained-for-dummies/>

<https://www.icetra.is/aviation/drones/>

https://www.faa.gov/uas/media/Part_107_Summary.pdf

<https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2017-05>

[https://www.researchgate.net/figure/NATO-UAS-Classification-](https://www.researchgate.net/figure/NATO-UAS-Classification-12_fig1_305760970)

[12_fig1_305760970](https://www.researchgate.net/figure/NATO-UAS-Classification-12_fig1_305760970)

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle

<https://www.drone.net.tr/blog/zirai-insansiz-hava-araci-1275.html>

Diğer web siteleri ve dergiler