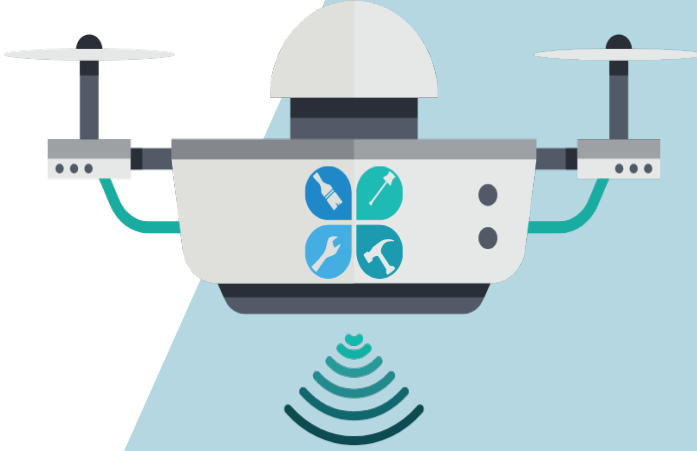




İHA BAKIM VE ONARIMI İÇİN
**ELEKTROMEKANİK
TEKNİSYENLERİN**
MESLEKİ BECERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ



İHA ONARIM VE BAKIM TEKNİSYENLERİ İÇİN

EL KİTABI

Editörler

Seyhun Durmuş - Abdullah Soykan
Cafer Türkmen - Cumali Yaşar



Co-funded by
the European Union



İHA Bakım ve Onarımı için Elektromekanik Teknisyenlerin Mesleki Becerilerinin Geliştirilmesi

Holistence Publications Yayınları

Bu kitabın basım, yayın ve satış hakları Holistence Publications'a aittir.

Bütün hakları saklıdır. Kitabın tümü, bölüm/bölmeleri Holistence Publications izni olmadan elektronik, optik, mekanik veya diğer yollarla çoğaltılamaz, dağıtılamaz, basılamaz ve bilgisayar ortamında tutulamaz.

Bu kitapta yayınlanan yazıların tüm sorumluluğu yazar(lar)a aittir.



EDİTÖRLER

Seyhun Durmuş Balıkesir Üniversitesi, Türkiye • **Abdullah Soykan** Balıkesir Üniversitesi, Türkiye • **Cafer Türkmen**, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye • **Cumali Yaşar**, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye

YAZARLAR

Seyhun Durmuş, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye • **Cumali Yaşar**, **Cafer Türkmen**, **Tülay Dargut Güler**, **Can Aktaş** ve **Levent Özçağ**, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye • **Elif Anda** ve **Caner Anda** Mellis Eğitim Teknoloji Ticaret Limited Şirketi, Türkiye • **Łukasz Korcz**, **Ewelina Zawielak** ve **Jozef Pacha**, Zespół Szkół Rolniczych imienia generała Jana Henryka Dąbrowskiego w Środzie Wielkopolskiej, Polonya • **Vasileios Skliros**, **Christos Skliros**, **Afroditi Sakellariopoulou** ve **Esmeralda Rouka**, Dronint, Kıbrıs • **Cosmin Daniel Nedelcu**, **Lucia Anișoara Raileanu**, **Olaru Gheorghe** ve **Matei Cristian**, Școala Militară de Maistri Militari și Subofiteri a Fortelor Aeriene "Traian Vuia", Romanya

GRAFİK TASARIM

Elif Anda

ISBN	978-625-5626-64-6
DOI	https://doi.org/10.55094/holistence.367
YAYIN TARİHİ	Kasım 2025
YAYINCI	51372 / Holistence Publications
YAYIN YERİ	Namık Kemal Mahallesi, Helvacıoğlu Sokak, Han Evleri 19-21/A, D:1, 17000 Çanakkale / Türkiye
TELEFON	(+90) 530 638 70 17
WEB	http://publications.holistence.com
E-MAIL	contact@holistence.com
SAYFA SAYISI	189

İHA BAKIM VE ONARIMI İÇİN
**ELEKTROMEKANİK
TEKNİSYENLERİN**
MESLEKİ BECERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Editörler

Seyhun Durmuş
Abdullah Soykan
Cafer Türkmen
Cumali Yaşar

PROJE KOORDİNATÖRÜ

Balıkesir Üniversitesi, Türkiye

PROJENİN ORTAK KURULUŞLARI

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye · Zespól Szkól Rolniczych imienia generała Jana Henryka Dąbrowskiego w Srodku Wielkopolskiej, Polonya · Dronint, Kıbrıs · Scoala Militara de Maistri Militari si Subofiteri a Fortelor Aeriene "Traian Vuia", Romanya · Mellis Eğitim Teknoloji Ticaret Limited Şirketi, Türkiye

LİSANS VE FERAGATNAME

Bu çalışma, Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC-SA 4.0) lisansı altında lisanslanmıştır.

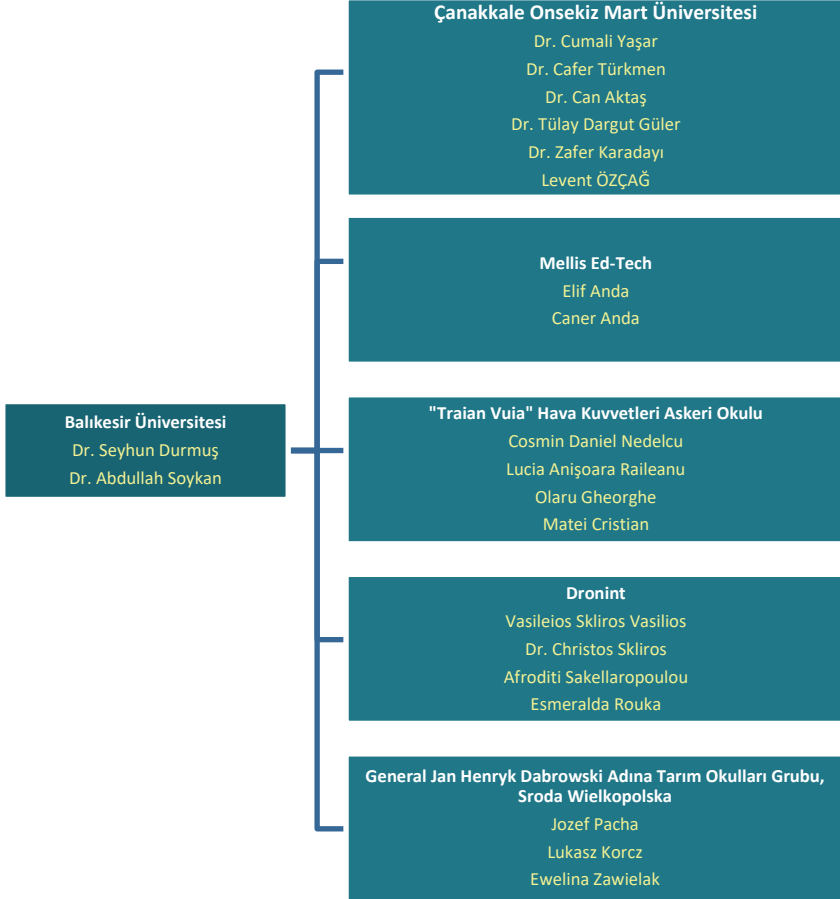
İHA Bakım ve Onarımı için Elektromekanik Teknisyenlerin Mesleki Becerilerinin Geliştirilmesi Projesi – 2023-1-TR01-KA220-VET-000151085, Erasmus+ eğitim, öğretim, gençlik ve spor programı tarafından eş finansman sağlanmaktadır. Avrupa Komisyonu'nun bu yayının hazırlanmasına verdiği destek, yalnızca yazarların görüşlerini yansıtan içeriğin onaylandığı anlamına gelmez ve Komisyon, burada yer alan bilgilerin herhangi bir şekilde kullanılmasıyla ilgili olarak sorumlu tutulamaz.

TEŞEKKÜR

Bu kitap, UAVET proje ortaklarının değerli katkılarıyla hazırlanmıştır ve UAV onarım ve bakım teknisyenlerinin eğitimi için geliştirilen UAVET eğitim programına tamamlayıcı bir eğitim materyali olarak hizmet etmektedir.

Proje Ortakları ve Ekip Üyeleri

Bu el kitabının hazırlanmasında gösterdikleri çaba ve titiz çalışmalarından dolayı ortaklarımıza teşekkür ederiz. Ortak kuruluşlarımız şunlardır:



Görsel Kaynaklar

Ortaklık konsorsiyumu üyeleri tarafından çekilen görsellerin yanı sıra, Canva (Pro sürümü), Pixabay ve Pexels'in ilgili lisansları kapsamında görsellerin kullanıldığını belirtir ve bize kaliteli görsel materyaller sağladıkları için bu platformlara değerli çabaları için teşekkür ederiz. Bu kitaptaki bazı dron bileşenleri illüstrasyonları OpenAI'nin GPT 4.0 kullanılarak oluşturulmuştur. Bunların kullanımı OpenAI'nin içerik ve kullanım politikalarına uygundur.

Ekibimiz tarafından oluşturulan bu yayındaki görseller, talep üzerine kullanıma açıktır. Bunları kullanmak isterseniz, lütfen “projectuavet@gmail.com” adresinden bizimle iletişime geçin. Bu kitabın içeriği açık erişimlidir ve uygun şekilde kaynak gösterildiği sürece, tamamen veya kısmen paylaşılabilir, uyarlanabilir, değiştirilebilir veya yeniden dağıtılabilir.

İçerik Kullanım Kuralları

Bu kitapta sunulan bilgiler serbestçe kullanılabilir, değiştirilebilir ve paylaşılabilir. Bununla birlikte, projenin temel amacı bilginin yaygınlaştırılması ve demokratik bir bilgi anlayışının teşvik edilmesi olduğundan, kitap içeriğinin ticari amaçlarla kullanılmaması önemle rica edilmektedir.

Yeni çalışmalarınızda ve üreteceğiniz eserlerde, Project UAVET'e atıfta bulunarak aşağıdaki ifadeye yer verilmesini rica ederiz: “Bu çalışma/eser, Erasmus+ KA220-HED Project UAVET: İHA Bakım ve Onarımı için Elektromekanik Teknisyenlerin Mesleki Becerilerinin Geliştirilmesi projesi kapsamında hazırlanan İHA Onarım ve Bakım Teknisyenleri El Kitabı'ndaki bilgilerden yararlanılarak hazırlanmış ve kitaptan uyarlanmıştır. Proje ekibinin katkılarını takdir eder, çalışmada sunulan görüş ve fikirleri kaynak olarak belirtmekten onur duyuyoruz.”

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	5
İÇİNDEKİLER	7
GİRİŞ	11
EL KİTABININ AMACI.....	13
BİRİNCİ BÖLÜM	15
İHA SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	17
1.1. GÖVDE	17
1.2. TAHRİK SİSTEMİ (MOTORLAR, ESC'LER, PERVANELER)	17
1.3. GÜÇ SİSTEMİ (PİLLER, ŞARJ, GÜÇ DAĞITIMI).....	18
1.4. UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ (OTOPİLOT, SENSÖRLER, GPS).....	19
1.5. İLETİŞİM SİSTEMİ (RC, TELEMETRİ)	21
1.6. UZAKTAN KUMANDA / YER KONTROL İSTASYONU (GCS)	22
1.7. YÜKLER (KAMERALAR, SENSÖRLER VB.)	2
İKİNCİ BÖLÜM	25
SORUN GİDERME	27
2.1. GİRİŞ: KAPSAM VE GEREKÇE	27
2.2. İHA'LARDA SIK KARŞILAŞILAN SORUNLAR	28
2.3. İHA İTKİ SİSTEMLERİNDEKİ ARIZALARIN BELİRLENMESİ	40
2.4. İHA ARIZALARI İÇİN TEŞHİS ARAÇLARI VE YÖNTEMLERİ.....	47
2.5. AKIŞ ŞEMALARI YARDIMIYLA SORUN GİDERME.....	54
2.6. SENSÖR KALİBRASYONLARI.....	66
2.7. UÇUŞ LOGLARI.....	70
2.8. HATA KODU YORUMLAMA	74
References.....	81

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	83
BAKIM PROSEDÜRLERİ	85
3.1. UÇUŞ ÖNCESİ KONTROL LİSTELERİ	85
3.2. UÇUŞ SONRASI KONTROL LİSTELERİ	86
3.3. FIRMWARE GÜNCELLEMESİ	88
3.4. PİL BAKIMI	91
3.5. BAKIM TÜRLERİ	92
3.6. BAKIM PROGRAMLARI	93
3.7. TEMİZLİK VE KORUMA PROSEDÜRLERİ	95
3.8. BİLEŞEN ÖMRÜ BEKLENTİLERİ	97
3.9. ÇEVRESEL FAKTÖRLER (TOZ, NEM VB. ORTAMLARDA ÇALIŞMA).....	98
 DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	103
ONARIM VE PARÇA DEĞİŞTİRME PROSEDÜRLERİ.....	105
4.1. GİRİŞ VE BÖLÜMÜN AMACI.....	105
4.2. ÖĞRENME KAZANIMLARI.....	106
4.3. DRON PARÇALARININ TANITIMI, DEĞİŞİMİ VE ARIZA TİPLERİ	110
4.4. YAZILIM YÜKLEME VE GÜNCELLEME PROSEDÜRLERİ.....	145
4.5. PARÇA DEĞİŞİM SÜREÇLERİNE YÖNELİK UYGULAMALI DEĞERLENDİRME.....	158
4.6. TEMEL EKİPMAN KULLANIMI VE DRONDA UYGULAMALARI	160
References.....	170
 BEŞİNCİ BÖLÜM	171
DOKÜMANTASYON VE İLETİŞİM	173
5.1. BAKIM KAYIT FORMLARI	173
5.2. MEVZUATA UYGUNLUK BİLGİLERİ.....	181
5.3. ÜRETİCİ KILAVUZLARI	184
5.4. YEDEK PARÇA LİSTELERİ.....	189

5.5. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KURALLARI	192
5.6. SOP'LER VE WO'LAR.....	195
5.7. SORUMLULUK (SİGORTA, KAZA RAPORLAMA)	200
5.8. ETKİLİ PROFESYONEL İLETİŞİM.....	203

GİRİŞ

Caner Anda¹
Elif Anda²

¹Mellis Education Technology, Türkiye, e-mail: caneranda@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6686-2081>
Mellis Education Technology, Türkiye, e-mail: elifanda.mellis@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-0069-8581>

GİRİŞ

EL KİTABININ AMACI

Dron onarımı ve bakımı ile ilgili UAVET Dijital El Kitabı'na hoş geldiniz! Bu el kitabı, Mesleki Standartlar E-Kitabı, UAVET Eğitim Programı ve Video Eğitimleri ile birlikte UAVET projesinin en önemli çıktıları arasında yer almaktadır. Kullanıcı dostu ve kolay anlaşılır bir kaynak olan bu el kitabı, dron onarım ve bakım teknisyeni olarak kariyer yapmak isteyen mesleki eğitim ve öğretim (VET) öğrencileri ve mezunları için pratik ve kapsamlı bir rehber olarak özenle hazırlanmıştır.

Dijital el kitabı sadece teori öğretmek için tasarlanmamıştır. Aynı zamanda öğrenme deneyimini iyileştirmek için pratik uygulamaları da entegre ederek kullanıcıların materyalle tam olarak ilgilenmelerini sağlar. Bu uygulama odaklı yaklaşım, onu sadece bir bilgi kaynağı değil, aynı zamanda teori ve uygulama arasındaki boşluğu dolduran etkili bir öğretim ve öğrenim kaynağı haline getirir.

El kitabı beş ana bölümden oluşmaktadır:

- **İHA Sistem Bileşenleri,**
- **Sorun Giderme,**
- **Bakım Prosedürleri,**
- **Onarım ve Bileşen Değiştirme Prosedürleri**
- **Dokümantasyon ve İletişim.**

Amacımız, gençleri dron bakım sektörüne güvenle girmeleri için gerekli teknik bilgi ve pratik deneyimle donatarak güçlendirmektir. Ayrıca, meslek okulları ve eğitim sağlayıcılarının dron endüstrisinin ihtiyaçlarına uygun yüksek kaliteli eğitim sunmalarını desteklemek istiyoruz.

BİRİNCİ BÖLÜM

İHA SİSTEM BİLEŞENLERİ

Yazarlar

Christos Skliros¹

Vasileios Skliros²

Afroditi Sakellaropoulou³

Esmeralda Rouka⁴

¹Dronint Cyprus, e-mail: c.skliros@dronint.com, <https://orcid.org/0000-0001-9406-9655>

²Dronint Cyprus, e-mail: info@dronint.com, <https://orcid.org/0000-0001-6870-6198>

³Dronint Cyprus, e-mail: innovation@dronint.com, <https://orcid.org/0009-0006-1085-5282>

⁴Dronint Cyprus, e-mail: anta.r1310@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-3882-7024>

BİRİNCİ BÖLÜM

İHA SİSTEM BİLEŞENLERİ

Bu bölümde, sonraki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanacak olan UAV sistem bileşenlerinin tanıtımı ve genel açıklamaları yer almaktadır.

1.1. GÖVDE

Gövde, herhangi bir İHA'nın yapısal omurgası olarak işlev görür ve itiş gücü, aviyonik, güç ve yük gibi tüm önemli alt sistemleri destekler ve entegre eder. Gövdenin tasarımı, uçağın aerodinamik performansı, uçuş verimliliği ve genel dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.



Şekil 1.1. İHA gövdesi

Görev profiline bağlı olarak, gövdelerin şekli ve konfigürasyonu, çok rotorlu düzeneklerden (quadcopter veya hexacopter gibi) sabit kanatlı veya hibrit VTOL tasarımlarına kadar önemli ölçüde değişebilir. Gövdede karbon fiber, güçlendirilmiş kompozitler ve hafif alüminyum alaşımları gibi malzemeler genellikle mukavemet, ağırlık ve esneklik arasında bir denge sağlamak için kullanılır.

İyi tasarlanmış bir gövde, istikrarlı uçuş özellikleri, sistem güvenilirliği ve gelişmiş İHA teknolojilerinin başarılı entegrasyonunu sağlamak için çok önemlidir.

1.2. TAHRİK SİSTEMİ (MOTORLAR, ESC'LER, PERVANELER)

Tahrik sistemi, İHA'nın kalkış yapmasını, manevra yapmasını ve istikrarlı bir uçuşu sürdürmesini sağlayan itiş gücünü üretmekten sorumludur. Bu sistemin merkezinde, verimlilikleri, güvenilirlikleri

ve yüksek güç-ağırlık oranları ile bilinen fırçasız DC motorlar bulunur ve bu motorlar hava platformları için idealdir.



Şekil 1.2. İHA pervaneleri (Kaynak: DRONINT)

Bu motorlar, hava akışını manipüle etmek ve kaldırma kuvveti üretmek için özel olarak tasarlanmış pervaneleri tahrik eder. Pervanelerin sayısı ve yönü, tek rotorlu platformlardan quadcopter'lara, hexacopter'lara ve hatta ağır yük uygulamaları için octocopter'lara kadar UAV'nin konfigürasyonuna göre değişir.

Elektronik Hız Kontrolörleri (ESC'ler), uçuş kontrolörü ile motorlar arasındaki bağlantı görevi görür. Gerçek zamanlı girdilere göre her motorun dönüş hızını ve yönünü düzenleyerek, İHA'nın hassas gaz ayarlamaları ve koordineli uçuş manevraları gerçekleştirmesini sağlar.

Motorlar, ESC'ler ve pervaneler birlikte, İHA'nın tepki hızını, stabilitesini ve uçuş performansını belirleyen entegre bir sistem oluşturur.

1.3. GÜÇ SİSTEMİ (PİLLER, ŞARJ, GÜÇ DAĞITIMI)

Güç sistemi, UAV'nin elektriksel çekirdeğidir. Motorlardan uçuş kontrolörlerine, kameralara ve iletişim bağlantılarına kadar her kritik bileşene enerji sağlamaktan sorumludur. Bu sistemin merkezinde, modern dron teknolojisindeki en önemli yeniliklerden biri olan lityum polimer (LiPo) piller bulunmaktadır.

Yüksek enerji çıkışı ve düşük ağırlık arasında ideal bir denge sunan bu piller, İHA'ların performanstan ödün vermeden daha uzun süre havada kalmasını mümkün kılar. Basitçe söylemek gerekirse, bu piller uçuş süresi ve yük kapasitesi açısından nelerin mümkün olduğunu yeniden tanımlamıştır.



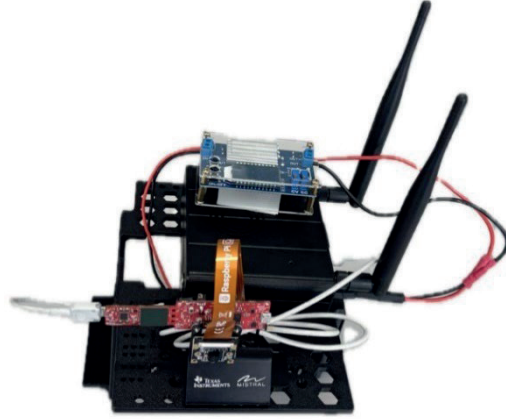
Şekil 1.3. İHA piller (Kaynak: DRONINT)

İyi tasarlanmış bir güç sistemi, sadece bir pili takmaktan ibaret değildir. Güvenli şarj çok önemlidir. LiPo piller, tüm hücrelerin eşit voltajda kalmasını sağlamak için dengeli şarj gerektirir. Bu, pil ömrünü uzatır ve aşırı ısınma veya arıza riskini azaltır. Yerleşik güç dağıtım panoları (PDB'ler) veya entegre güç modülleri, genellikle voltaj regülatörleri kullanarak otopilot ve telemetri gibi hassas sistemlere temiz ve istikrarlı güç sağlamak için elektriği ihtiyaç duyulan yere yönlendirir.

Profesyonel düzeydeki dronlar ayrıca gerçek zamanlı güç izleme özelliğine sahiptir, böylece pilotlar ve yerleşik sistemler uçuş sırasında voltaj, akım ve kalan kapasiteyi takip edebilir. Bu özellik, pil çok zayıflamadan önce eve dönüşü tetiklemek gibi akıllı kararlar alınmasını sağlar ve kazaları önlemek ve görevin başarısını sağlamak için çok önemlidir.

1.4. UÇUŞ KONTROL SİSTEMİ (OTOPİLOT, SENSÖRLER, GPS)

Uçuş kontrol sistemi, İHA'nın beyni gibidir. Sensör verilerini yorumlamak, uçuş komutlarını yürütmek ve hava aracını her koşulda stabil ve duyarlı tutmaktan sorumludur. Bu sistemin merkezinde, genellikle dronun ana kartı olarak adlandırılan Uçuş Kontrolörü bulunur. Sensörlerden, GPS'den ve kullanıcı girdilerinden gelen tüm verilerin birleştiği ve uçuş sırasında tüm kritik kararların alındığı yerdir.



Şekil 1.4. İHA Uçuş Kontrolörü (Kaynak : DRONINT)

Genellikle uçuş kontrol cihazına entegre edilen otopilot yazılımı, hem manuel hem de otonom operasyonları yönetir. Dronu stabilize eder, yönelimini (eğim, yuvarlanma ve sapma) yönetir ve önceden programlanmış uçuş rotalarını veya yol noktası görevlerini yürütür. Dron manuel veya otonom olarak uçarken, otopilot dinamik ortamlarda bile sorunsuz ve koordineli kontrol sağlar.

Hassas uçuş davranışını desteklemek için kontrolör, bir dizi gömülü sensöre dayanır. Bunlar:

- Denge ve stabilite için açısal hareketi ve doğrusal ivmeyi izleyen jiroskoplar ve ivme ölçerler.
- Dijital pusula görevi gören ve dronun Dünya'nın manyetik alanına göre doğru yönelimini sağlayan manyetometreler.
- Doğru irtifa verileri sağlayan barometreler ve altimetreler.
- Genellikle IMU (Atalet Ölçüm Birimi) füzyonu ile birleştirilen ve gerçek zamanlı konum verileri sağlayan GPS modülleri, otonom navigasyon, eve dönüş ve coğrafi sınırlama gibi işlevleri mümkün kılar.

Bu bileşenler birlikte, drona hassas bir şekilde uçuşma, hızlı tepki verme ve minimum insan müdahalesi ile karmaşık görevleri yerine getirme yeteneği kazandıran sıkı bir şekilde entegre bir sistem oluşturur. Sağlam bir uçuş kontrol sistemi olmadan, dronların güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışması mümkün olmaz.

1.5. İLETİŞİM SİSTEMİ (RC, TELEMETRİ)

Bir İHA'nın iletişim sistemi, dronu pilot veya yer kontrol istasyonuna (GCS) bağlayarak gerçek zamanlı kontrol ve izlemeyi mümkün kılar. Radyo kontrol (RC) bağlantıları ve telemetri veri bağlantılarının bir kombinasyonu ile çalışır ve her ikisi de güvenli ve etkili çalışma için gereklidir.

RC bağlantısı, operatörün genellikle 2,4 GHz veya 5,8 GHz gibi frekansları kullanarak dronun hareketlerini manuel olarak kontrol etmesini sağlar. Daha gelişmiş sistemler, görüş hattı ötesindeki (BVLOS) görevler için uzun menzilli RF veya hatta uydu iletişimi kullanabilir. Bu bağlantılar, düşük gecikme süresi için güvenli ve optimize edilmiştir, böylece pilot komutlarına anında yanıt verilir.



Şekil 1.5. İHA Telemetri

Telemetri ise dronun geri bildirim kanalıdır. GPS konumu, irtifa, hız, yön, pil voltajı, motor durumu ve sensör okumaları dahil olmak üzere kritik uçuş verilerini sürekli olarak GCS'ye iletir. Bu bilgi akışı genellikle otopilot ve jiroskoplar, ivmeölçerler, manyetometreler ve güç sistemi gibi yerleşik sensörlerden kaynaklanır. Pilot veya görev operatörünün İHA'nın durumunu gerçek zamanlı olarak izlemesini ve düşük pil, sinyal kaybı veya coğrafi sınır ihlalleri gibi anormalliklere proaktif olarak yanıt vermesini sağlar.

İletişim genellikle hem İHA'ya hem de yer istasyonuna monte edilmiş antenler aracılığıyla gerçekleştirilir; bazı sistemlerde ise daha uzun mesafelerde sinyal bütünlüğünü korumak için yönlü veya çeşitli antenleri kullanılır.

Profesyonel uygulamalarda, güvenilir iletişim tartışılmaz bir gerekliliktir. İHA manuel olarak uçuyor veya tamamen otonom bir görev yürütüyor olsun, sağlam veri bağlantıları tam durum farkındalığını, güvenlik protokollerine uyumu ve görevin başarısını garanti eder.

1.6. UZAKTAN KUMANDA / YER KONTROL İSTASYONU (GCS)

Uzaktan Kumanda veya Yer Kontrol İstasyonu (GCS), İHA sisteminin insan-makine arayüzüdür. İHA operatörlerinin telemetriyi izlediği, görevleri planladığı ve gerçek zamanlı uçuş komutları verdiği yerdir. İster entegre ekrana sahip bir el kumandası ister tam ölçekli bir dizüstü bilgisayar tabanlı GCS olsun, bu bileşen hem manuel hem de otonom operasyonlar için gereklidir.



Şekil 1.6. İHA Uzaktan Kumanda (Kaynak: DRONINT)

Modern GCS kurulumları genellikle şunları içerir:

- Canlı telemetri görselleştirme (ör. irtifa, hız, yön, pil durumu)
- Yerleşik kameralardan gerçek zamanlı video akışı
- Kullanıcıların önceden yol noktalarını ve coğrafi sınırları tanımlayabilmelerini sağlayan görev planlama arayüzleri
- Acil durum müdahaleleri veya hassas görevler için manuel geçersiz kılma kontrolleri

Saha operasyonlarında sıklıkla kullanılan uzaktan kumanda, genellikle çift joystick, özelleştirilebilir düğmeler, telemetri ve videoyu görüntülemek için yüksek parlaklıkta bir ekrana sahiptir. Ayrıca, özel uçuş uygulamaları çalıştıran tabletlere veya akıllı telefonlara da bağlanabilir. Kontrol odalarında veya mobil komuta araçlarında, birden fazla ekran, uzun menzilli antenler ve yedekli iletişim bağlantıları içeren daha gelişmiş GCS yapılandırmaları kullanılır.

Bu sistemler ayrıca aşağıdaki gibi kritik Komuta ve Kontrol (C2) işlevlerini de destekler:

- Sinyal kaybı durumunda eve dönüş (RTH)
- Arıza emniyetli ayarlar (ör. otomatik iniş, havada asılı kalma, pozisyonu koruma)
- Karmaşık ortamlarda güvenli çalışma sağlayan hava sahası yönetim platformlarıyla entegrasyon

Sonuç olarak GCS; durum farkındalığı, manuel kontrol ve otonom uçuş yönetimini tek bir entegre merkezde birleştirerek, herhangi bir İHA görevinin merkezi sinir sistemi olarak işlev görür.

1.7. FAYDALI YÜKLER

Yükler, İHA tarafından taşınan göreve özgü araçlardır. Dronun tarım arazilerini haritalandırma, altyapıyı inceleme veya arama ve kurtarma operasyonları yürütme gibi gerçek kullanım amaçlarını belirler. En yaygın yükler kameralar ve sensörlerdir, ancak bunlar uygulamaya bağlı olarak tür ve karmaşıklık açısından büyük farklılıklar gösterir.



Şekil 1.7. İHA Kamerası (Kaynak: DRONINT)

Kameralar genellikle birincil yük olup sabit veya çıkarılabilir olabilir. Birçok dron, operatörlerin göreve bağlı olarak kameraları veya sensörleri hızlı bir şekilde değiştirebilmelerini sağlayan modüler yük bölmeleriyle tasarlanmıştır. Kamera, fotoğraf ve video çekimi için standart bir RGB sensörden aşağıdakiler gibi son derece özel sistemlere kadar çeşitlilik gösterebilir:

- Tarım ve bitki örtüsü analizi için multispektral kameralar.
- Isı haritalama, arama ve kurtarma veya elektrikli bileşenlerin incelenmesi için termal veya kızılötesi görüntüleyiciler.
- Yüksek hassasiyetli 3D haritalama ve arazi modelleme için LiDAR sistemleri.

Görüntüleme dışında, dronlar bilimsel ve endüstriyel görevler için hava kalitesi sensörleri, radyasyon dedektörleri veya çevre monitörleri de taşıyabilir. Modern İHA yük sistemlerinin modülerliği ve esnekliği, tek bir platformun sensör paketini değiştirerek çok çeşitli görevleri desteklemesine olanak tanır. Sonuçta, yük, drona amacını veren şeydir ve doğru yükü seçmek, herhangi bir hava operasyonunun başarısı için çok önemlidir.

İKİNCİ BÖLÜM

SORUN GİDERME

Yazar

Seyhun Durmuş¹

Abdullah Soykan²

¹Doç. Dr., Balıkesir University, Türkiye, e-mail: drmsyhn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1409-7355>

²Prof. Dr., Balıkesir University, Türkiye, e-mail: soykana@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4093-9541>

İKİNCİ BÖLÜM

SORUN GİDERME

2.1. GİRİŞ: KAPSAM VE GEREKÇE

Etkili sorun giderme, insansız hava aracı (İHA) operasyonlarında uçuş hazırlığı ve uçuş emniyetini sağlamak için olmazsa olmaz bir adımdır. Bu bölüm, görev başarımını ve hava aracı bütünlüğünü tehlikeye atabilecek en sık karşılaşılan İHA arızalarının belirlenmesi, teşhis edilmesi ve çözülmesi için kapsamlı bir içerik sunmaktadır. Bu bölümde özetlenen sistematik yaklaşım, arıza semptomlarının tanınmasını, teşhis prosedürlerinin uygulanmasını ve hızlı problem çözümünü sağlamak için kullanılan özel araçların tanıtımı yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Dronlarda sorun giderme

Bu bölümün kapsamı, temel semptom tanımlamadan uçuş loglarını kullanan ileri teşhis tekniklerine ve hata kodu yorumlamasına kadar temel sorun giderme metodolojilerini kapsar. Yapılandırılmış sorun giderme akış şemaları, teknisyenlere mantıksal problem çözme dizileri boyunca rehberlik ederken, sensör kalibrasyon prosedürleri optimum sistem performansı için zorunlu prosedürleri içerir. Bu sistematik metodoloji, dron teknisyenlerinin hava aracı arıza süresini en aza indirmesini ve yüksek uçuş emniyeti ve güvenilirlik

standartlarını korumasına destek sağlar. Şekil 2.1.'de dron sistemlerindeki sorunları belirleme ve çözme sürecini gösteren sembolik bir görsel sunulmuştur.

Dronlarda sorun giderme, uçuş öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılandırılmış bir süreçtir. Uçuş öncesi inceleme, fiziksel hasar veya gevşeklik için görsel kontrolleri, yazılım aracılığıyla sistem teşhisini, sensör kalibrasyonunu (IMU, pusula, GPS), ürün yazılımı(firmware) ve yazılım durum doğrulamasını, hava durumu ve GPS sinyal kalitesi gibi çevresel değerlendirmeleri kapsar.

Tablo 2.1. Dron operasyon aşamalarına göre sorun giderme prosedürleri

<u>Uçuş Öncesi İnceleme</u>	<u>Uçuş Sırasında İzleme</u>	<u>Uçuş Sonrası Analiz</u>
Görsel kontroller	Gerçek zamanlı telemetri analizi	Log kayıtları
Sistem teşhisi	Dahili uyarılar	Performans karşılaştırmaları
Sensör kalibrasyonu	Uçuş davranışı gözlemi	Bileşen denetimi
Firmware durumu		Veri yedekleme ve raporlama
Çevresel kontrol		Sorun sınıflandırması

Uçuş sırasında izleme, voltaj, sıcaklık ve irtifa gibi temel parametrelerin gerçek zamanlı telemetri ile analizine, yerleşik uyarıların takibine ve anormal uçuş davranışlarının gözlemlenmesine odaklanır. Uçuş sonrası analiz, uçuş loglarının gözden geçirilmesini, beklenen ve gerçek performansın karşılaştırılmasını, bileşenlerin yeniden kontrol edilmesini, verilerin yedeklenmesini ve raporların oluşturulması ile belirlenen sorunların yazılım, donanım veya kullanıcıyla ilgili kategorilere göre sınıflandırılmasını içerir.

2.2. İHA'LARDA SIK KARŞILAŞILAN SORUNLAR

2.2.1. İHA İtki Sisteminde Sıkça Karşılaşılan Arızalar

İHA'nın tahrik sistemi motor, ESC ve pervanelerden oluşur. Fırçasız motorlar, İHA'yı uçurmak için pervaneleri döndürmekten sorumludur ve hızları doğrudan kV değeri ile ilgilidir. Pervaneler, itki kuvveti üreten bileşenlerdir ve boyutları ile eğimleri önemli parametrelerdir. Saat yönünde veya saat yönünün tersine dönebilirler. Elektronik Hız

Kontrol Cihazları (ESC), uçuş kontrol cihazından gelen sinyallere göre motorların dönüş hızını ayarlayan elektronik devrelerdir.

Motor arızaları, performansı ve güvenilirliği etkileyen çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Aşırı ısınma, genellikle yoğun kullanım, yetersiz soğutma veya motorun aşırı yüklenmesinden kaynaklanan en sık karşılaşılan sorundur. Yabancı madde girişi, özellikle kum, toz veya çim kırpıntıları gibi parçacıkların motora girebileceği açık havada çalışan dronlarda başka bir yaygın sorundur. Uzun süreli kullanım, titreşim veya fiziksel darbeler nedeniyle hasarlı rulmanlar meydana gelebilir ve bu da sürtünmenin artmasına ve verimliliğin düşmesine neden olabilir. Bükülmüş veya yanlış hizalanmış şaftlar genellikle çarpışmalardan, sert inişlerden veya balansı bozuk pervanelerden kaynaklanır ve bu da motorun düzgün çalışmasını bozabilir. Aşırı akım, kısa devre veya sürekli aşırı yüklenmeden kaynaklanan yanmış sargılar, motorun tamamen arızalanmasına neden olabilir. Ayrıca, mıknatıs bozulması en az yaygın arıza türüdür. Ancak, motorun yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması veya doğal yaşlanması nedeniyle ortaya çıkabilir ve motorun manyetik gücünü azaltarak performansını düşürebilir. Tablo 2.2., İHA'ların tahrik sisteminde gözlemlenen yaygın arızaların ayrıntılı bir özetini göstermektedir.

ESC arızaları çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Aşırı ısınma, genellikle yetersiz soğutma veya aşırı akım çekilmesi nedeniyle yaygın bir sorundur ve bu da dahili bileşenlere zarar verebilir. Temel güç işleme parçaları olan MOSFET'lerdeki veya kapasitörlerdeki arızalar ESC'de yanmaya neden olabilir. Kötü lehim bağlantıları, özellikle sürekli titreşim ve ısıya maruz kalındığında oluşan başka bir risk unsurudur ve kısa süreli veya tamamen bağlantı kesilmesine yol açar. Uçuş kontrol cihazından gelen PWM sinyalinin bozulması veya kaybolması gibi sinyal sorunları da ESC'nin işlevini bozabilir.

Tablo 2.2. İHA'ların tahrik sisteminde en sık karşılaşılan arızalar

İHA'LARIN İTKİ SİSTEMİ		
		
Motor	ESC	Pervane
- Aşırı ısınma - Yabancı madde girişi - Hasarlı rulmanlar - Bükülmüş veya yanlış hizalanmış şaft - Yanmış sargılar - Mıknatıs bozulması	- Aşırı ısınma - Zayıf lehim bağlantıları - Sinyal kaybı - Kalibrasyon sorunları - Güç kaynağı sorunları - Motor senkronizasyon sorunları - Nem hasarı	- Çatlaklar ve kesikler - Aşınma - Çarpma hasarı - Deformasyon - Yanlış montaj - Balanssızlık - Gevşeklik

Ürün yazılımı hataları veya yanlış kalibrasyon, performansı etkileyen hatalara neden olabilir. Voltaj dalgalanmaları veya arızalı bir BEC (Batarya Eliminatör Devresi) gibi güç kaynağı sorunları, ESC'nin dengesini bozabilir. Motor senkronizasyon sorunları zamanlama uyumsuzluklarından kaynaklanır. Son olarak, su veya nem girişi kısa devrelere ve korozyona neden olarak ESC güvenilirliğini daha da tehlikeye atabilir.

İHA'lardaki pervane arızaları, uçuş güvenliğini ve performansını tehlikeye atan çeşitli sorunlardan kaynaklanabilir. Pervanelerdeki çatlaklar ve kesikler genellikle yabancı cisimlerle çarpışma durumundan veya uzun süreli kullanımdan kaynaklanır ve bu da yapısal zayıflığa yol açar. Aşınma, zamanla malzeme bütünlüğünü bozarak çalışma sırasında arıza riskini artırabilir. Genelde sert yüzeylerle çarpışmalardan kaynaklanan pervane çarpma hasarı, görünür veya gizli kırıklara yol açabilir. Pervanedeki deformasyonun nedeni ısı ya da darbe olsa da, bu durum aerodinamik verimliliği ve uçuş stabilitesini olumsuz etkiler. Yanlış montaj yanlış hizalamaya neden olabilirken, pervanedeki balans sorunu motoru ve şasiyi zorlayan titreşimlere neden olabilir. Ayrıca, pervane bağlantısındaki

gevşeklik, ciddi bir emniyet açığı oluşturarak kopmaya veya düzensiz dönüşe yol açar.

2.2.2. İHA Güç Sisteminde Sık Karşılaşılan Arızalar

Bir İHA'nın güç sistemi iki kritik bileşenden oluşur: Batarya ve Güç Dağıtım Kartı (PDB). Tipik olarak bir Lityum Polimer (LiPo) tipi olan bataryalar, dronun ana güç kaynağı olarak işlev görür ve nominal voltaj (S-sayısı), kapasite (mAh) ve maksimum deşarj oranı (C-derecesi) gibi temel elektriksel parametreler batarya seçimi için kritik değerlerdir. PDB veya güç dağıtım kartı merkezi güç besleme merkezi olarak işlev görür ve gücü bataryadan alır ve ESC'ler, uçuş kontrolörü ve diğer elektronikler gibi temel bileşenlere dağıtır. Bu kart bazen uçuş kontrol cihazına veya 4'ü 1 arada ESC ünitesine entegre edilebilir.

Batarya arızalarının hem kullanıma bağlı eskime hem de yanlış kullanım nedeniyle arızalanma gibi bir dizi gerekçesi olabilir. Kapasite kaybı, batarya eskidikçe ortaya çıkan en yaygın ve olası sorundur. Çok hücreli bir paketteki tek tek hücrelerin farklı voltaj seviyelerine sahip olduğu hücre dengesizliği, genellikle voltaj tutarsızlığına yol açarak performansı daha da etkiler. Bataryalar eskidikçe, iç dirençleri de artar ve bu durum verimliliği azaltır. Konektör aşınması, tekrarlanan kullanımın neden olduğu ve zamanla performansı düşürebilen başka bir sık karşılaşılan sorundur. Daha ciddi sorunlar, özellikle lityum iyon ve LiPo pillerde, iç hasarı gösteren ve ciddi bir güvenlik riski oluşturan şişme olayıdır. Aşırı ısınma, yüksek akım çekilmesi veya hasardan kaynaklanabilirken, batarya güvenli voltaj seviyelerinin altına düştüğünde derin deşarj hasarı meydana gelir ve genellikle geri dönüşü olmayan hasara neden olur. NiMH gibi daha eski pil türlerinde, eksik deşarj döngüleri nedeniyle ortaya çıkan ve kapasitenin azalmasına yol açan 'hafıza etkisi' görülebilir. Fiziksel hasarlardan kaynaklanan kısa devreler, elektrolit sızıntısına veya aşırı durumlarda, dahili kısa devrelerin kontrol edilemeyen ısı birikmesine neden olduğu ve potansiyel olarak yangın veya patlamaya neden olduğu tehlikeli bir durum olan termal kaçaklara yol açabilir. Tablo 2.3., İHA'ların güç sisteminde gözlemlenen yaygın arızaların ayrıntılı bir özetini göstermektedir.

Tablo 2.3. İHA'ların güç sisteminde en sık karşılaşılan arızalar**İHA'LARIN GÜÇ SİSTEMİ****Batarya**

- Kapasite kaybı
- Hücre dengesizliği
- Voltaj tutarsızlığı
- İç direnç artışı
- Konektör aşınması
- Şişme
- Aşırı ısınma
- Derin deşarj hasarı
- Hafıza etkisi
- Kısa devre
- Elektrolit sızıntısı
- Termal kaçak

**Güç Dağıtım Panosu (PDB)**

- Soğuk lehim bağlantıları
- Bağlantı hataları
- Kısa devreler
- Hasarlı voltaj regülatörleri
- Yanık izleri
- Kondansatör arızaları
- Aşırı ısınma
- PCB devre izi kopması
- Konektör pimi hasarı
- EMI/RFI girişim sorunları
- Topraklama sorunları

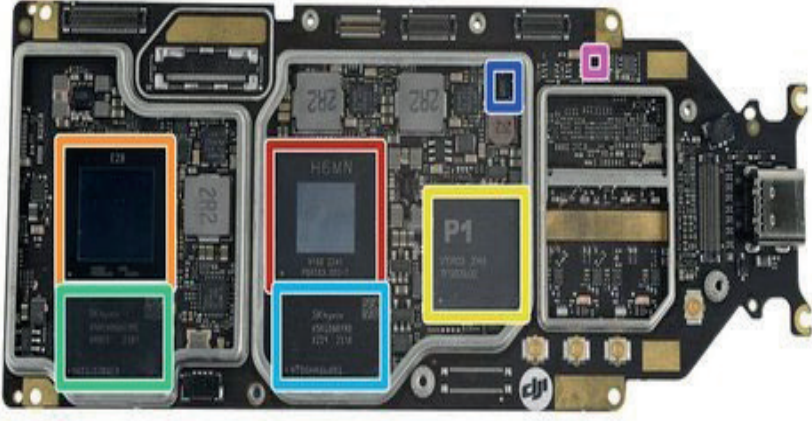
Bir dronun güç dağıtım kartındaki (PDB) bir arıza, temel bileşenlere güç dağıtımını tehlikeye atan çeşitli sorunlardan kaynaklanabilir. Yaygın sorunlar arasında, kısa süreli güç kaybına veya bağlantının tamamen kesilmesine neden olabilen soğuk lehim bağlantıları ve bağlantı hataları yer alır. Kısa devreler ve hasarlı voltaj regülatörleri, genellikle yanık izleri veya aşırı ısınma belirtileri ile kendini gösteren sistem kararsızlığına veya bileşen arızasına neden olabilir. Kondansatör arızaları ve bozuk PCB izleri, voltaj regülasyonunu ve güç akışını daha da bozar. Konektör pimi hasarı güvenilir bağlantılar oluşturabilirken, elektromanyetik girişim (EMI veya RFI) ve topraklama sorunları hem kontrolü hem de sensör doğruluğunu etkileyen sinyal gürültüsüne yol açabilir.

2.2.3. İHA Uçuş Kontrol Kartı ve Uçuş Sensöründe Yaygın Arızalar

Bir dronun genellikle beynine ve sinir sistemine benzetilen karmaşık kontrol sisteminde, Uçuş Kontrolörü (FC), istikrarlı uçuş ve navigasyon sağlamak için çeşitli sensörlerden gelen verileri yorumlayan merkezi işlem birimi olarak işlev görür. Bu sistemin anahtarı, doğrusal ivme için bir ivmeölçer ve açısal dönüş için bir jiroskop entegre eden atalet ölçüm birimidir (IMU). Manyetometre (pusula) gibi ek sensörler yönü belirlerken, barometre hava basıncına göre yüksekliği ölçer. Hassas küresel konumlandırma, irtifa ve yer hızı için bir GPS/GNSS modülü gereklidir. Ayrıca, sinyal kaybı veya kritik sistem arızası durumunda Eve Dönüş modu gibi otomatik acil durum prosedürlerini başlatmak için bir arıza emniyeti modülünün olması çok önemlidir. Daha gelişmiş dronlar, engellerden kaçınma veya yapay zeka güdümlü görevler gibi karmaşık işlevleri yönetmek için dahili işlemcileri de içerebilir. Tablo 2.4.-2.5.'te sırasıyla uçuş kontrol kartında ve uçuş sensörlerinde gözlemlenen yaygın arızalar sunulmuştur.

Tablo 2.4. İHA'ların uçuş kontrol kartında en sık karşılaşılan arızalar

UÇUŞ KONTROL CİHAZI



Bağlantı Sorunları	Firmware Sorunları	Sistem Yanıtı Sorunları	Donanım Sorunları	Dış Girişim
- Radyo bağlantısı kaybı - Telemetri bağlantı hatası - İletişim zaman aşımı - Yer istasyonu bağlantı hatası	- Yazılım güncelleme sorunları - Bileşenler arasındaki bellek çakışmaları - Önyüklemeye hataları - Parametre bozulması - Flash bellek bozulması	- Tepkisizlik - Komutlara yanlış yanıt - Düzensiz davranışlar ve beklenmedik manevralar - Kontrol döngüsü kararsızlığı - PID ayarlama sorunları - Arızaya karşı güvenli aktivasyon sorunları	- Yoğun kullanım veya yetersiz havalandırma nedeniyle aşırı ısınma - Güç kaynağı kararsızlığı - Dahili bileşen arızası - Bellek hataları - İşlemci kilitleme	- Harici cihazlardan gelen elektromanyetik girişim (EMI) - Radyo frekansı paraziti (RFI)

Tablo 2.5. İHA'ların uçuş sensörlerinde en sık görülen arızalar

UÇUŞ SENSÖRLERİ			
			
IMU (Atalet Ölçüm Birimi)	Manyetometre (Pusula)	Barometre	GPS/GNSS Modülü
Jiroskop kayması/arızası	Pusula kalibrasyon sorunları	Barometrik basınç sensörü sapması	GPS sinyali kesintisi
İvmeölçer kalibrasyon sorunları	Manyetik sapma hataları	İrtifa tutma kararsızlığı	Yanlış konum verileri raporlaması
IMU sıcaklık kayması	Zamanla pusula kayması	Sıcaklık kompanzasyon hataları	GPS doğruluğunda bozulma
IMU okumalarında titreşim kaynaklı gürültü	Pusula okumalarını etkileyen metal parazit	Barometre kalibrasyon sorunları	Uydu ağı sorunları
IMU montaj oryantasyon hataları	Sert/yumuşak demir kalibrasyon sorunları	Basınç sensörü tıkanması (toz/nem)	GPS sahtekarlığı / sıkışması
Çoklu IMU tutarsızlığı	Pusula-GPS yön uyumsuzluğu	Hızlı irtifa değişimlerinde sensör gecikmesi	RTK/diferansiyel GPS hataları
IMU sistem durumu izleme hataları	Çoklu pusula tutarsızlığı		GPS-pusula füzyon problemleri
			Çoklu uydu geçiş sorunları
			GPS soğuk başlatma gecikmeleri
			HDOP
			(Hassasiyetin Yatay Seyretilmesi) uyarıları

2.2.4. İHA Haberleşme Sisteminde Sıkça Karşılaşılan Arızalar

Dron iletişim sistemleri, sinyal kaybı, yakındaki RF (Radyo Frekansı) kaynaklarından gelen parazit ve mesafe veya engeller nedeniyle menzil sınırlamaları gibi çeşitli sorunlar yaşanabilir. 2,4 GHz/5,8 GHz bantlarındaki güç anormallikleri, çevresel koşullar ve frekans kontrol sisteminde aksamalara neden olabilir. Anten hasarı, bağlantı sorunları ve hatalı kanal çıkışları iletimi bozar. Ürün yazılımı (firmware) hataları düzensiz davranışlara neden olabilir. Telemetri ve video bağlantılarında zayıf sinyaller, parazit, gecikme süresi, paket kaybı ve güçle ilgili kesintiler görülür. Olumsuz hava koşulları ve yer istasyonu arızaları da performansı etkiler. Genel olarak, güvenilir radyo verici (Tx) ve alıcı (Rx) sistemlerinin bakımı, istikrarlı ve güvenli İHA operasyonları için önemlidir. Tablo 2.6., İHA'ların iletişim sisteminde gözlemlenen yaygın arızaların ayrıntılı bir özetini göstermektedir.

Tablo 2.6. İHA'ların iletişim sisteminde en sık görülen arızalar

İHA'LARIN İLETİŞİM SİSTEMİ



Radyo Vericisi (Tx) ve Alıcı (Rx)

- Sinyal kaybı ve parazit
- Menzil kısıtı
- Batarya ve güç anormallikleri
- Çevresel etki
- Frekans bandı çakışmaları
- Anten hasarı
- Bağlama ve eşleştirme hataları
- Hatalı kanal çıkışları
- Ürün yazılım hataları



Veri İletimi (Telemetri, Video Vericisi)

- Zayıf sinyal
- Girişim
- Yüksek gecikme süresi
- Paket kaybı/bozulması
- Güç sorunları
- Çevresel faktörler
- Frekans bandı tıkanıklığı
- Yer istasyonu sorunları
- Hasarlı/yanlış hizalanmış antenler
- Firmware hataları

Genelde iletişim sistemi, pilotun komut göndermek için kullandığı elde taşınan bir radyo vericisini içerir. Bu komutlar daha sonra dronun radyo alıcısı tarafından alınarak uçuş kontrol kartına iletilir. Bir telemetri radyosu, dronun batarya durumu, konumu ve genel durum gibi temel verileri pilota geri göndermesine ve aynı zamanda ayarları veya komutları almasına olanak tanıyan hayati bir çift yönlü bağlantı sağlar. Gerçek zamanlı durumsal farkındalık için, bir Video Vericisi (VTx), dronun kamerasından pilota canlı bir video akışı aktarır. Radyo sinyallerinin verimli ve güvenilir biçimde iletilip alınabilmesi için Tx, Rx, VTx ve video alıcısı (VRx) gibi tüm bileşenlere uygun antenler bağlanır.

2.2.5. İHA'ların Faydalı Yüklerinde Sıkça Karşılaşılan Arızalar

Dronlar, temel uçuş bileşenlerinin ötesinde göreve özel ekipmanları taşıyan faydalı yükleri sayesinde çok yönlü işlemler yapabilir. Faydalı yük sistemi genellikle yüksek kaliteli fotoğrafçılık, videografi ve görüş tabanlı navigasyon gibi uygulamalar için kullanılan bir kamera içerir. Bu kameralar; pürüzsüz çekimler için gimbal ile stabilize edilmiş birimlerden, FPV (Birinci Şahıs Görünümü) sistemlerine ve özel multispektral kameralara kadar çeşitli özelliklere sahip olabilir. Kamerayı tamamlayan bir gimbal, kamerayı aktif olarak sabitlemek ve dron hareketinden bağımsız olarak net ve sabit görüntüler sağlamak için sıklıkla kullanılır. Görsel yakalamanın ötesinde, faydalı yük aynı zamanda hassas haritalama için LiDAR, ısı algılama için termal kameralar, çevresel izleme için gaz sensörleri veya tarımsal analiz için multispektral sensörler gibi çok çeşitli özel sensörlere ev sahipliği yapabilir ve dronların çok çeşitli görevleri yerine getirmesini sağlar. Tablo 2.7., İHA'ların faydalı yüklerinde gözlemlenen yaygın arızalara ayrıntılı bir özet sunmaktadır.

Tablo 2.7. İHA'ların yükünde en sık görülen arızalar**İHA'LARIN FAYDALI YÜKLERİ****Gimbal**

- Gimbal motor arızası
- Esnek kablo kopması
- Gevşek bağlantılar
- Görüntü titreşimleri
- Gimbal kalibrasyon arızası
- Gimbal süspansiyon sistemi hasarı
- Gimbal eğme/kaydırma sınır aşması

Kamera

- Kamera sensörü sorunları
- SD kart sorunları
- Lens buğulanması
- Ürün yazılım uyumsuzlukları

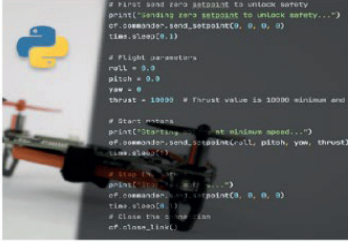
Gimbal ve kamera sistemleri, performansı ve görüntü kalitesini etkileyebilecek çeşitli sorunlar yaşanmasına eğilimlidir. Yaygın gimbal hatalarından biri sürekli çalışma, fiziksel darbeler veya aşırı yükten kaynaklanan gimbal motor arızasıdır. Esnek (flex) kablo kopması, gimbalin tekrarlanan hareketleri nedeniyle sık karşılaşılan bir başka sorundur, ancak zamanla titreşimler veya genel aşınma nedeniyle gevşek bağlantılar oluşabilir. Görüntü titreşimleri, dengesiz veya hasarlı pervanelerden kaynaklanabilir ve çekimin kararlılığını bozabilir. Ek olarak, gimbal kalibrasyon arızası ani sıcaklık kaymalarından veya darbelerden kaynaklanabilir ve sönümleme mekanizmaları ve esnek konektörler içeren gimbal süspansiyon sistemi de aşınmaya ve hasara karşı hassastır. Gimbal eğimi veya yönü mekanik sınırlarını aşarsa, iç sınırlayıcılar gerilebilir veya kırılabilir.

Kamera tarafında, en yaygın sorunlardan biri uzun süreli kullanım veya darbeye bağlı kamera sensörü hasarıdır. Bozuk kartlar, kayıt hataları ve veri kaybı gibi SD kart sorunları da yaygındır. Sıcaklık değişiklikleri gibi çevresel faktörler, lensin içinde nem birikmesi nedeniyle lensin buğulanmasına neden olabilir. Son olarak hem gimbal hem de kamera sistemlerinin düzgün çalışmasını etkileyen güncelleme hataları veya yazılım çakışmaları nedeniyle ürün yazılımı uyumsuzlukları meydana gelebilir.

2.2.6. İHA Gövdesi ve Yazılımında Yaygın Arızalar

Herhangi bir İHA'nın temel yapısını, diğer tüm bileşenlerin entegre edildiği ana gövde, yani şasi oluşturur. Bu gövde genel olarak elektronikleri ve diğer parçaları monte etmek için birincil üst ve alt yüzeyler olarak hizmet veren ana gövdeyi içerir. Bu plakalardan uzanan, motorların güvenli bir şekilde takıldığı önemli unsurlar olan kollardır ve taşınabilirlik için sabitten uygun şekilde katlanabilir dronlara kadar değişen tasarımlara sahiptir. Tüm bu yapıyı bir arada tutan, sertlik ve stabilite sağlayan vidalar, somunlar ve ara destek elemanları gibi çeşitli montaj donanımı parçalarıdır. Son olarak, iniş takımı gerekli ayakları veya kızıkları sağlayarak dronun güvenli ve istikrarlı inişler yapmasını sağlar. Tablo 2.8., İHA'ların gövdesinde ve yazılımında gözlemlenen yaygın arızaların ayrıntılı bir özetini sunmaktadır.

Tablo 2.8. İHA gövdesinde ve yazılımda en sık karşılaşılan arızalar

	
Gövde	Yazılım/Firmware
- Çatlaklar ve kırılmalar - Gevşek vidalar ve bağlantılar - Titreşim - Eğrilmiş veya yanlış hizalanmış parçalar - Malzeme yorgunluğu - Aşınma ve yıpranma - Korozyon - Yatak ve pivot noktası arızaları - Deformasyon	- Güç optimizasyonu sorunları - Veri okuma hataları - İletişim kesintileri - Veri kaybı - Stabilizasyon sorunları - Uyumluluk sorunları - Firmware güncelleme hataları - GSC bağlantı sorunları - Günlük dosyası bozulması - Arıza emniyet mekanizması hataları

Dron gövde arızaları genellikle, sert inişlerden, çarpışmalardan veya malzeme yorgunluğundan kaynaklanan yapısal bileşenlerdeki çatlakları ve kırılmaları içerir. Bu sorunlar yapısal bütünlüğü doğrudan tehlikeye atmakta ve önemli güvenlik riskleri doğurmaktadır. Gevşek vidalar ve bağlantılar genellikle sürekli titreşim, termal genleşme ve büzülme döngüleri veya montaj sırasında yetersiz sıkma nedeniyle ortaya çıkar ve parça kopmasına, sistem dengesizliğine ve performans düşüşüne yol açması olasıdır. Motor dengesizliği, pervane hasarı veya aşırı devir nedeniyle oluşan titreşim hasarı, malzeme yorgunluğunu hızlandırır ve kritik bağlantıları gevşetir. Genellikle darbeler, yanlış montaj veya aşırı yüklerden kaynaklanan bükülmüş veya yanlış hizalanmış parçalar aerodinamiği bozar ve uçuşta dengesizliğe neden olur. Yük binmesi, yaşlanma veya çevresel faktörlerden kaynaklanan malzeme yorgunluğu, bileşenleri kademeli olarak zayıflatır ve ani kırılma riskini artırır.

Sürtünme, çevresel maruziyet ve normal kullanımdan kaynaklanan genel aşınma ve yıpranma, performans kaybına ve sızdırmazlık kaybına yol açar. Nem, tuz veya kimyasallardan kaynaklanan korozyon, malzemeleri bozar ve yapısal elemanları zayıflatır. Genellikle yetersiz yağlama, kirlenme veya aşırı yüklenme nedeniyle rulmanlarda ve bağlantı noktalarında meydana gelen arızalar, i niş takımı gibi hareketli mekanizmaların işlevini bozar. Aşırı sıcaklıklar, uygun olmayan depolama veya darbelerden kaynaklanan deformasyon, montaj zorlukları ve kalıcı dengesizlik sorunları yaratır.

2.3. İHA İTKİ SİSTEMLERİNDEKİ ARIZALARIN BELİRLENMESİ

2.3.1. İHA İtki Sistemlerinde Arıza Belirtileri

İHA itki sorunları, olağandışı motor gürültüsü/titreşimi, aşırı ısınma veya sarsıntılı hareket olarak ortaya çıkar ve genellikle motor sorunları şeklinde kendini gösterir. ESC arızaları; ani motor durmaları, düzensiz çalışma veya gaz koluna tepki vermeme gibi belirtilerle ortaya çıkar. Bu tür arızalarda genellikle yanık izleri veya şişmiş bileşenlere rastlanır. Pervane hasarı, titreşimin artmasına ve taşımanın azalmasına neden olur. Tüm bunlar bir araya geldiğinde, genel uçuş kararsızlığına, beklenmedik irtifa kaybına veya havada

kararlı şekilde asılı (hover) kalamamaya neden olabilir. Tablo 2.9., İHA tahrik sistemlerinde gözlemlenen yaygın arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Tablo 2.9. İHA'ların tahrik sistemindeki arızaların en yaygın belirtileri

		
Motor	ESC	Pervane
- Olağandışı gürültü/titreşim - Elle döndürme zorluğu - Tutarsız güç - Aşırı ısınma - Görünür hasar - Renk değişikliği - Motorun sarsıntılı hareketi - Aşırı akım çekişi - Rulmanda aşınma veya düzgün olmayan dönüş	- Ani motor durması - Düzensiz motor davranışı - ESC devreye girmiyor - Olağandışı sesler - Yanık izleri - Şişmiş bileşenler - Aşırı ısınma - Gaz kolu girişine yanıt yok - Kesintili bağlantı - Hata kodlarını gösteren LED durum göstergeleri - Yük altında gerilim düşüşleri	- Artan titreşim - İtkide düşüş - Görünür hasar

2.3.2. İHA Güç Sistemlerinde Arıza Belirtileri

İHA güç sorunları genellikle bataryadan veya güç dağıtım kartından (PDB) kaynaklanır. Batarya sorunları arasında düşük uçuş süresi, hızlı voltaj düşüşleri, şişme, aşırı ısınma ve hücre dengesizliği yer alır. PDB sorunları genelde tutarsız güç, aşırı ısınma, bileşen güç kaybı veya rengi değişmiş lehim bağlantıları olarak kendini gösterir. Bu semptomların tanınması, hızlı tanı ve güvenli çalışma için çok önemlidir. Tablo 2.10., İHA güç sistemlerinde gözlemlenen arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Tablo 2.10. İHA'ların güç sistemindeki arızaların en yaygın belirtileri



Batarya

- Uçuş süresinde azalma
- Yük altında hızlı voltaj düşüşleri
- Şişlik
- Şarj sırasında aşırı ısınma
- Aşırı ısınma
- Şarj almama
- Normalden daha uzun şarj süresi
- Hücreler arasında akü voltajı dengesizliği
- Şarj sırasında olağandışı sesler
- Akü terminallerinin çevresinde korozyon veya sızıntı



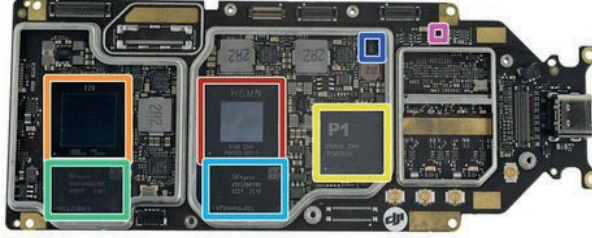
Güç Dağıtım Panosu (PDB)

- Tutarsız güç dağılımı
- Aşırı ısınma
- Görünür yanık belirtileri
- Aşırı ısınma
- Belirli bileşenlerde güç kaybı
- Motorlara/kameraya kesintili güç
- Renksiz veya erimiş lehim bağlantıları

2.3.3. İHA Uçuş Kontrol Kartı ve Uçuş Sensöründeki Arıza Belirtileri

Yaygın uçuş kontrol kart (FC) sorunları arasında elektrik kesintisi, önyükleme döngüleri, USB bağlantı sorunları ve uçuşa hazır hale gelememe ('arm' olmama durumu) yer alır. Düzensiz sensör okumaları, komutsuz hareketler, gecikmeli çubuk tepkisi veya kontrol dışı hareketler (flyaway) meydana gelebilir. Doğru kurulumla bile, uçuş kontrol kartları daha derin sistem veya bellek hataları nedeniyle motor senkronizasyonunun bozulmasına, GPS işlev arızalarına veya tutarsız uçuşa neden olabilir. Tablo 2.11.-12., sırasıyla uçuş kontrol kartında ve uçuş sensörlerinde gözlemlenen yaygın arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Tablo 2.11. İHA'ların uçuş kontrol kartındaki arızaların en yaygın belirtileri



Arm ve Uçuş Öncesi Sorunlar

- Güç yok/ışık yok
- Önyükleme hatası
- Bilgisayar algılanmıyor
- Arm olmama
- Yanlış arm bayrakları
- Tutarsız sensör okumaları

Davranışsal Belirtiler

- Komutsuz hareketler
- Düzensiz uçuş davranışı
- Yanıt vermeme/komut gecikmesi
- Kontrolenden çıkma
- Aralıklı elektrik kesintileri
- Otonomide tutarsızlık
- Motor senkronizasyonu

İHA'larda özellikle IMU, manyetometre, barometre ve GPS/GNSS'deki sensör hataları ciddi uçuş anormalliklerine yol açabilir. IMU hataları, yalpalamaya veya kararsız uçuşa neden olabilir. Manyetometre hataları, sürüklenmeye, sapma sorunlarına veya GPS modu arızalarına neden olabilir. Barometre sorunları genellikle irtifa dengesizliğine yol açar. GPS/GNSS hataları, zayıf uydu kilidine, yanlış konumlandırmaya veya harita atlamalarına neden olabilir. Bu sorunlar, düz uçuş veya Eve Dönüş (RTH) işlevlerini engelleyebilir. Kombine sensör arızaları, büyük güvenlik riskleri oluşturarak hava aracı kontrol kaybına bile neden olabilir.

Tablo 2.12. İHA'ların uçuş sensörlerindeki arızaların en yaygın belirtileri

			
IMU (Ataletsel Ölçüm Birimi) Hataları	Manyetometre (Pusula) Hataları	Barometre Hataları	GPS/GNSS Modülü Hataları
- Düzensiz uçuş davranışı - Sürüklenme - Stabilize olamama - Komutsuz hareketler - Kurma/başlatma hatası	- Kontrolsüz hareket - Düzensiz sapma davranışı - Yanlış başlık gösterimi - GPS destekli modların devreye girememesi - Kötü RTH performansı - Kalibrasyon hataları	- İrtifa kararsızlığı - Yanlış yükseklik okuması - İrtifanın korunamaması - Kötü arazi takibi - RTH irtifa sorunları	- Düzeltme alınamama - Yavaş düzeltme alımı - Düşük uydu sayısı - Zayıf HDOP/VDOP - Yanlış konum - Pozisyon kayması/atlaması - GPS modlarının devreye girememesi - Düzensiz RTH davranışı - Flyaway riski

2.3.4. İHA Haberleşme Sistemindeki Arıza Belirtileri

Sürüklenme veya savrulma gibi komutsuz hareketler, genellikle bir İHA'nın iletişim sisteminde sorun olduğunu gösterir. Bu tür sorunlar, radyo vericisi (Tx) ve alıcısının (Rx) işlevlerini olumsuz etkileyebilir. Semptomlar arasında bağlanma arızaları, zayıf/kesintili sinyaller veya tam sinyal kaybı yer alır ve bu da FPV gözlüklerinde yer istasyonu "bağlantısı kesildi" uyarılarına veya "sinyal yok" mesajlarına yol açar. Ayrıca, telemetri verilerinin yavaşlaması veya donması video gecikmesi, pikselleşme ve menzil düşüşü, uçuş güvenliğini ve kontrolünü tehlikeye atan veri iletim sorunlarının yaygın belirtileridir. Tablo 2.13., İHA'nın iletişim sisteminde gözlemlenen arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Tablo 2.13. İHA'ların haberleşme sistemindeki arızaların en sık görünen belirtileri



**Radio Vericisi (Tx)
Radio Alıcısı (Rx)**

- Güç yok/yanıt vermiyor
- Bağlama hatası
- Arızalı kanal çıkışları
- Zayıf sinyal
- Kesintili sinyal
- Sinyal kaybı



Veri İletimi (Telemetry, Video Vericisi)

- Yer istasyonu "Bağlantı Kesildi" uyarısı gösteriyor
- FPV gözlükleri "Sinyal Yok" veya kar statik gösteriyor
- Yavaş telemetry güncelleştirmeleri veya donma
- Video akışı gecikmesi
- Değerler düzensiz titriyor veya atlıyor
- Eksik veya bozuk veri ekranı
- Görüntüde pikselleşme, yırtılma, kar efekti
- OSD öğeleri titriyor veya kayboluyor
- Menzil düşüşü
- Ani statik patlamalar
- Videodaki desenli çizgiler veya dalgalar

2.3.5. İHA Faydalı Yükündeki Arıza Belirtileri

Gimbal ve İHA'lardaki kamera arızaları genellikle daha belirgin semptomlar olarak ortaya çıkar. Gimbal sorunları arasında olağandışı sesler, eğilme, başlatma hataları, görünür çökme ve düzensiz hareketler yer alır. Kamera sorunları, bulanık veya bozuk görüntülere, renk kaymalarına, yanlış pozlamaya ve video takılmalarına neden olabilir. Bu semptomlar, dronun görüntüleme ve stabilizasyon bileşenlerindeki sorunları teşhis etmek ve müdahale etmek için kritik öneme sahiptir. Tablo 2.14., İHA'nın faydalı yükünde gözlemlenen arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Tablo 2.14. İHA'ların faydalı yüklerindeki arızaların en yaygın belirtileri



Gimbal

- Gimbal motorlardan gelen olağandışı sesler
- Gimbal açıldığında bir tarafa eğiliyor
- Gimbal başlangıçta düzgün başlatılmıyor
- Görünür gimbal sarkması veya sarkması
- Gimbal hareket ediyor ama pozisyonunu tutmuyor
- Gimbal beklenmedik şekilde kayıyor veya eğiliyor
- Çalışma sırasında sarsıntılı veya kekeme hareket
- Gimbal aşırı titriyor veya sallanıyor
- Yavaş veya yanıt vermeyen gimbal kontrolü
- Gimbal kilitleniyor veya tamamen yanıt vermiyor
- Düzensiz veya rastgele gimbal hareketleri

Kamera

- Bulanık veya odak dışı çekim
- Videoda jello etkisi
- Görüntü bozulması veya çarpıklık
- Renk kaymaları veya yanlış beyaz dengesi
- Aşırı pozlanmış veya az pozlanmış görüntüler
- Videoda takılma veya kare düşmesi

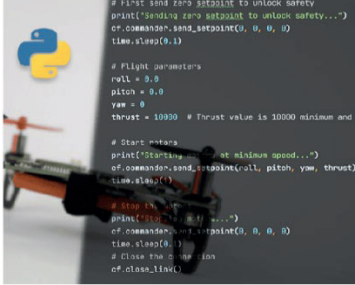
2.3.6. İHA Gövde ve Yazılımındaki Arızaların Belirtileri

İHA gövde arızaları genellikle uçuş sırasında görsel olarak tespit edilebilir veya tespit edilebilir. Görünür çatlaklara, gevşek vidalara veya bükülmüş kollara odaklanın, çünkü bunlar yapısal bütünlüğü doğrudan etkiler. Uçuş sırasındaki semptomlar arasında aşırı titreşim, olağandışı kararsızlık veya düz uçuşu sürdürmede zorluk yer alır ve bu da altta yatan gövde sorunlarını gösterir. Deforme olmuş bölümler, aşınmış vida delikleri, tıkrıtı sesleri veya katlama mekanizmalarıyla ilgili sorunlar gibi diğer işaretler de güvenli çalışma için acil müdahale gerektiren kritik gövde hasarına işaret eder. Tablo 2.15., İHA'nın gövdesi ve yazılımında gözlemlenen yaygın arıza semptomları hakkında ayrıntılı bir liste sunmaktadır.

Bir dron düzensiz uçuş sergilediğinde, irtifa değişimleri yaşandığında veya komutları görmezden geldiğinde, yazılım veya ürün yazılımı sorunları muhtemel nedendir. Eve dönüşteki arızalar, dengesiz pozisyon tutma, telemetri kaybı, düşen kontrol sinyalleri ve

video kesintileri de bu sorunlara işaret eder. Kalıcı hata bip sesleri, LED uyarıları, durum denetim hataları, yanlış düşük batarya uyarıları ve bellek hataları, dikkat ve olası güncellemeler gerektiren temel yazılım veya ürün yazılımı arızalarının öncü göstergeleridir.

Tablo 2.15. İHA'ların gövde ve yazılımındaki arızaların en yaygın belirtileri

	
Gövde/Çerçeve	Yazılım/Firmware
- Karbon fiber/plastikte gözle görülür çatlaklar veya kırıklar - Gevşek veya eksik vidalar ve bağlantı elemanları - Bükülmüş gövde kolları - Uçuş sırasında aşırı titreşim - Olağandışı uçuş dengesizliği veya yalpalama - Düz uçuşu sürdürmede zorluk - Deforme olmuş veya çarpık gövde bölümleri - Aşınmış veya genişlemiş vida delikleri - Yüzey korozyonu veya renk bozulması - Çalışma sırasında tıkrıtı sesleri - Katlama/açma zorluğu (katlanabilir dronlar için)	- Düzensiz veya kararsız uçuş davranışı - Beklenmeyen irtifa değişiklikleri - Kontrol girişlerine yanıt vermiyor - Eve dönüş işlevi hatası - Pozisyon tutma kararsızlığı - Telemetri veri iletimi kaybı - Kontrol sinyali kesintileri - Video akışı kesintileri veya gecikmesi - Yer istasyonu bağlantı kesme uyarıları - Sürekli hata bip sesi veya LED uyarıları - Sistem durumu denetimi hataları - Tam şarja rağmen düşük batarya uyarıları - Bellek veya depolama hataları

2.4. İHA ARIZALARI İÇİN TEŞHİS ARAÇLARI VE YÖNTEMLERİ

Bu bölümdeki içerikler, 'Arıza Teşhis Araçları' ve 'Arıza Teşhis Yöntemleri' kategorileri altında İHA'larda sorun gidermeyi ele almaktadır. İHA arızaları için yaygın olarak kullanılan teşhis araçlarının görsel bir temsili Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. İHA Arızaları İçin Yaygın Olarak Kullanılan Teşhis Araçları

2.4.1. İHA İtki Sistemleri İçin Teşhis Araçları ve Yöntemleri

Motor arızaları; görsel inceleme, direnç/sıcaklık izleme ve bir osiloskop veya motor test düzeneği kullanılarak titreşim analizi yapılarak anlaşılır. ESC'ler, yanmış bileşenler için görsel inceleme, sıcaklık izleme ve bir multimetre ve termal kamera ile akım/voltaj testi yoluyla değerlendirilir. Pervane arızaları; görsel/dokunsal inceleme, balans testleri ve büyüteç kullanılarak montaj kontrolleri yoluyla teşhis edilir. Bu kontroller, dronun verimli ve güvenli çalışmasını sağlar. Tablo 2.16., İHA itki sistemleri için temel ölçüm araçlarını ve arıza teşhis yöntemlerini göstermektedir.

2.4.2. İHA Güç Sistemleri için Teşhis Araçları ve Yöntemleri

İHA güç sistemi tanılama, belirli araçlara ve yöntemlere dayanır. Pil için, dijital multimetre, pil analizörü ve kızılötesi termometre, voltaj testi, kapasite kontrolleri ve sıcaklık izleme için çok önemlidir. PDB, sorunları tespit etmek için görsel inceleme, voltaj ölçümü ve termal görüntüleme için dijital multimetre, termal görüntüleme kamerası ve büyüteç gerektirir. Bu birleşik yaklaşımlar, hücre dengesi ve akım çekişi analizinden İHA güvenilirliğinin korunmasına kadar kapsamlı arıza tanılama sağlar. Tablo 2.17., İHA güç sistemleri için temel ölçüm araçlarını ve arıza teşhis yöntemlerini göstermektedir.

Tablo 2.16. İHA'ların itki sisteminde yer alan araçlar ve arıza teşhis yöntemleri

	Motor	ESC	Pervane
Arıza Teşhis Araçları	- Osiloskop - Motor test düzeneği - Gaussmetre - Termal görüntüleme kamerası veya kızılötesi termometre	- Multimetre - Osiloskop - Termal görüntüleme kamerası - ESC programlama kartı/yazılımı - Uçuş kontrolörü yazılımı - Test cihazını destekler - Büyüteç	- Büyüteç - Parlak LED el feneri - Pervane balans cihazı - Tork anahtarı - Titreşim analizörü
Arıza Teşhis Yöntemi	- Görsel inceleme - Manuel şaft dönüş testi - Multimetre direnç testi - Motor sargıları arasında - Motor sıcaklığı izleme - Titreşim analizi - RPM ölçümü - Güç tüketimi	- Yanmış bileşenlerin görsel muayenesi - Telemetri yoluyla sıcaklık izleme - Akım çekişi ile nominal kapasite karşılaştırması - Yük altında voltaj testi - Gerilim düşüşleri/dalgalanmaları kontrol etme - Multimetre ile süreklilik testi - Sinyal kablosu sürekliliğini kontrol etme - Güç dağıtım panosu bağlantılarını doğrulayın - Bilinen iyi uçuş kontrolörü ile test edin - Çalışma sırasında termal görüntüleme	- Görsel ve dokunsal inceleme - Büyütülmüş inceleme - Denge testi - Esneklik testi - Dönme testi - Ses muayenesi - Montaj kontrolü

Tablo 2.17. İHA'ların güç sistemindeki araçlar ve arıza teşhis yöntemleri

	Batarya	Güç Dağıtım Kartı (PDB)
Arıza Teşhis Araçları	- Dijital multimetre - Akü analizörü - İç direnç ölçer - Kızılötesi termometre - Batarya şarj cihazı	- Dijital multimetre - Termal görüntüleme kamerası - Probu dijital termometre - LED aydınlatmalı büyüteç - Sıcaklık kontrollü lehimleme istasyonu
Arıza Teşhis Yöntemi	- Gerilim Testi - Hücre Dengesi Kontrolü - Kapasite Testi - İç Direnç Ölçümü - Sıcaklık İzleme - Görsel İnceleme - Deşarj Oranı Testi - Şarj Süresi Analizi - Döngüsel Yük Testi	- Görsel İnceleme - Gerilim Ölçümü - Akım Çekme Analizi - Süreklilik Testi - Termal Görüntüleme

2.4.3. İHA Uçuş Kontrol Kartı ve Uçuş Sensörü İçin Teşhis Araçları ve Yöntemleri

İHA arızalarının, özellikle sürüklenme veya seğirme gibi komut almadan yapılan hareketleri içerenlerin tespiti, büyük ölçüde uçuş kontrol kartına ve uçuş sensörlerine sistematik olarak yaklaşılmasına dayanır. Tablo 2.18.'de detaylandırıldığı gibi, osiloskoplar ve mantık analizörleri gibi bir dizi özel ölçüm aracı, bu karmaşık sistemlerdeki sorunları belirlemek için çok önemlidir. Etkili arıza teşhis yöntemleri, uçuş kontrolörü için görsel denetimler ve güç kaynağı analizinden, uçuş sensörleri için veri kaydı analizi ile çevresel testlere kadar uzanır ve optimum dron performansı için sorun giderilir.

Tablo 2.18. İHA'ların uçuş kontrol kartı ve uçuş sensöründeki araçlar ve arıza teşhis yöntemleri

	Uçuş Kontrol Kartı	Uçuş Sensörü
Arıza Teşhis Araçları	- Dijital multimetre - Osiloskop - Spektrum analizörü - Mantık analizörü - Akım probu/pens ampermetre - Sıcak hava yeniden işleme istasyonu - USB	- Dijital multimetre - Osiloskop - Mantık analizörü - GPS/GNSS test cihazı - Pusula kalibrasyon aracı - IMU test platformu - Spektrum analizörü
Arıza Teşhis Yöntemi	- Görsel inceleme - Güç kaynağı analizi - İletişim portu testi - Sensör kalibrasyon kontrolü - Sinyal izleme - Firmware yanıp sönüyor - Bileşen değişimi - Termal analiz - Log analizi	- Veri kaydı analizi - Statik kalibrasyon testi - Çapraz referans - Çevresel testler - Sinyal yolu izleme - İletişim protokolü testi

2.4.4. İHA Haberleşme Sistemi İçin Teşhis Araçları ve Yöntemleri

İHA'lardaki iletişim hatalarını teşhis etmek, güvenilir uçuş operasyonları için çok önemlidir. Tablo 2.19.'da detaylandırıldığı gibi, etkili sorun giderme, temel bileşenler için özel ölçüm araçlarını ve yöntemlerini içerir. Radyo Vericisi (Tx) ve Radyo Alıcısı (Rx) için teknisyenler sinyal gücü testi ve menzil testi gerçekleştirmek için RF spektrum analizörleri ve SWR ölçerler gibi araçlar kullanır ve sağlam kontrol bağlantıları sağlar. Benzer şekilde, telemetri ve videoyu kapsayan veri iletimiyle ilgili sorunlar, genellikle RSSI ölçerler ve anten analizörleri ile paket kaybı analizi ve frekans tarama analizi kullanılarak ele alınır. Doğru araçlarla desteklenen bu sistematik yaklaşımlar, İHA iletişim bütünlüğünün korunması için hayati önem taşıyor.

Tablo 2.19. İHA haberleşme sistemlerinde arıza teşhis yöntemleri ve araçları

	Radyo Vericisi (Tx) Radyo Alıcısı (Rx)	Veri İletimi (Telemetry, Video Vericisi)
Arıza Teşhis Yöntemi	- Sinyal gücü testi - Menzil testi - Frekans taraması - Bağlama/bağlantı testi - Arıza güvenliği testi - Kanal eşleme - Gecikme ölçümü	- Paket kaybı analizi - Frekans tarama analizi - Sinyal gücü testi - Anten deseni testi - Bağlantı bütçesi hesaplaması - Gecikme ölçümü
Araçlar	RF spektrum analizörü SWR ölçer Multimetre Osiloskop RF güç ölçer Anten analizörü Sinyal üretici RSSI ölçer	

2.4.5. İHA Faydalı Yüğü için Teşhis Araçları ve Yöntemleri

İHA faydalı yük sorunlarının giderilmesi, Tablo 2.20.'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi doğru ölçüm araçlarının ve arıza teşhis yöntemlerinin etkin kullanımına bağlıdır. Gimbal sistemlerinde, eğim ölçerler ve titreşim analizörleri gibi araçlar; görsel inceleme ve yük testiyle birlikte kullanıldığında, kararlılık ve hareket sorunlarını doğru şekilde tespit eder.

Tablo 2.20. İHA'ların faydalı yüklerinde kullanılan araçlar ve arıza teşhis yöntemleri

	Gimbal	Kamera
Arıza Teşhis Araçları	- Eğim ölçer - Titreşim analizörü - Akım pens ampermetre - Enkoder/konum sensörü	- HDMI/video sinyali test cihazı - USB protokol analizörü - Dijital multimetre - Osiloskop - Spektrum analizörü
Arıza Teşhis Yöntemi	- Hassas kaliperler - Multimetre - Osiloskop - Görsel inceleme - Fonksiyonel test - Yük testi - Sinyal izleme - Log analizi	- Görsel inceleme - Güç kaynağı testi - Sinyal yolu izleme - Bileşen değişimi - Donanım yazılımı sürüm doğrulaması - Titreşim analizi - İletişim protokolü testi

Kameralarla ilgili görüntüleme ve veri akışı sorunlarının giderilmesi için; güç kaynağı testi, iletişim protokolü doğrulaması, HDMI/video sinyal test cihazları ve spektrum analizörleri gibi araçlar kullanılır. Bu sistematik yaklaşımların uygulanması, dronun faydalı yüklerle birlikte operasyonel bütünlüğünün korunması açısından büyük önem taşır.

2.4.6. İHA Gövdesi ve Yazılımı için Teşhis Araçları ve Yöntemleri

İHA'nın yapısal bütünlüğünün korunması, uçuş güvenliği ve performansı için çok önemlidir. Tablo 2.21.'de belirtildiği gibi dronun gövdesinin kapsamlı bir uçuş öncesi incelemesi esastır. Büyüteç ve LED aydınlatma gibi araçlar, ayrıntılı görsel inceleme ve bağlantı elemanı kontrollerine yardımcı olur. Su terazisi, gövde hizalamasını sağlamaya yardımcı olurken; titreşim analizörü, mikro düzeydeki mekanik sorunları algılayabilir. Kablolama, yalıtım ve batarya tutucularının düzenli olarak kontrol edilmesi, olası arızaların önlenmesine ve dronun güvenli şekilde çalışmasına katkı sağlar.

Tablo 2.21. İHA'ların gövde ve yazılımlarında yer alan araçlar ve arıza teşhis yöntemleri

	Gövde/Çerçeve	Yazılım
Arıza Teşhis Araçları	- Büyüteç - LED aydınlatma - Dijital Kumpaslar - Tornavida - Kabarcık Seviyesi - Titreşim Analiz Cihazı - Ağırlık Ölçeği - İplik Aralığı Ölçer	- Log analizörleri (görev planlayıcısı, qgroundcontrol) - Gerçek zamanlı telemetri panoları - Simülasyon araçları (gazebo, SITL) - Sistem durumu izleme metrikleri - Ping/sinyal monitörleri - Hata ayıklama konsolları / yer kontrol logları - Veri kayıt cihazları (ROS torbası, MAVlink kaydedici)
Arıza Teşhis Yöntemi	- Detaylı görsel inceleme - Simetri kontrolü - Bağlantı elemanları kontrolü - Kablo yönlendirme ve izolasyon kontrolü - Batarya tutucu ve sabitleme kontrolü - Gövde esnekliği ve burulma testi	- Hata kodu analizi - Sensör yedekliliği kontrolü - Bekçi köpeği zamanlayıcıları - Durum tahmini tutarlılık denetimleri - Parametre akıl sağlığı doğrulaması - Log imza eşleştirme - Arızaya karşı emniyetli tetik analizi

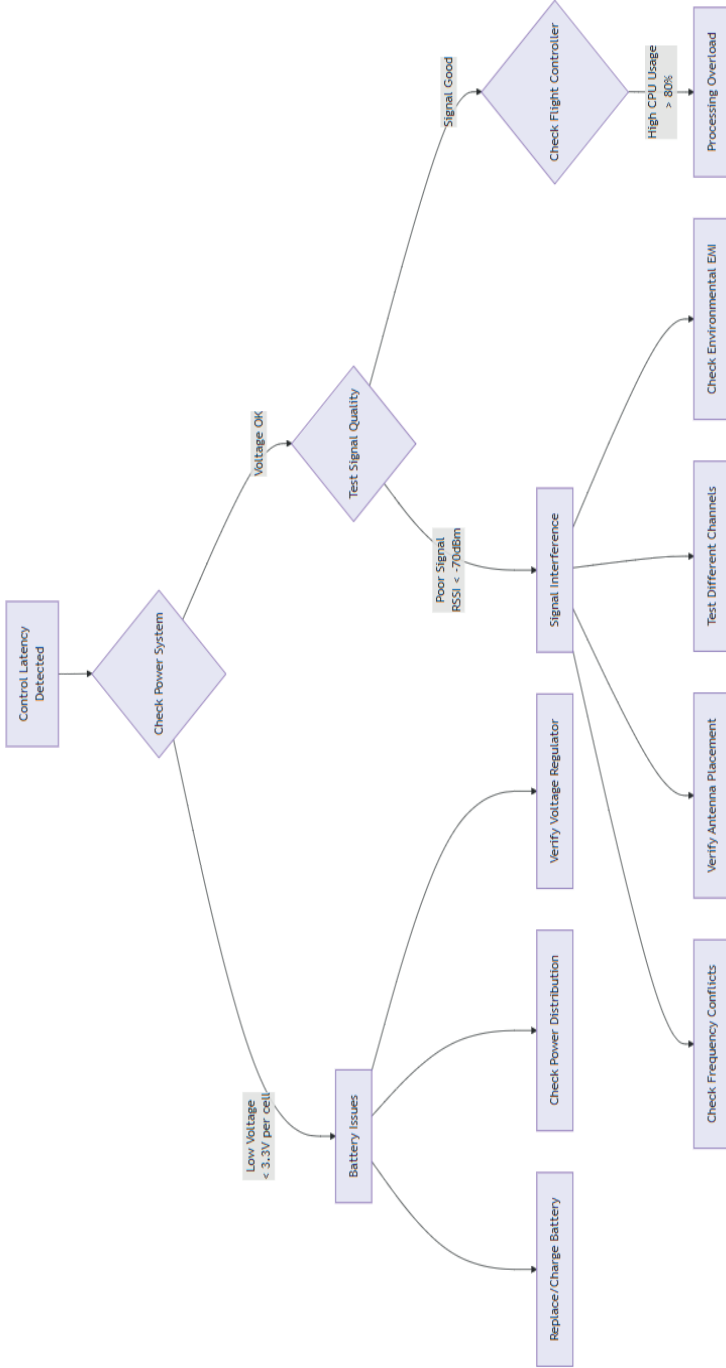
2.5. AKIŞ ŞEMALARI YARDIMIYLA SORUN GİDERME

Akış şemaları, insansız hava araçlarında karşılaşılan yaygın operasyonel sorunları teşhis etmek için yapılandırılmış bir sorun giderme yaklaşımı sunar. Akış şemaları, İHA'larda sıkça karşılaşılan ve birden fazla nedeni olabilen uçuş performansı anomalileri olan kontrol gecikmesi, hoverda drift, uçuş süresinde düşüş, beklenmeyen irtifa değişiklikleri, asimetrik uçuş davranışı, kararsız hover, aşırı titreşim, beklenmeyen mod değişiklikleri ve yüksek sıcaklık gibi sorunların belirlenmesine ve çözülmesine yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Her arıza, bu bölümde sağlanan özel diyagramlar yardımıyla çözümlenmiş ve bu diyagramlar kullanıcılara karar verme sürecinde adım adım rehberlik etmektedir. Bu sayede bakım ve onarım verimliliğini artırmak, arıza süresini en aza indirmek ve hem acemi hem de deneyimli operatörler için güvenli ve stabil dron performansı elde etmek amaçlanmıştır.

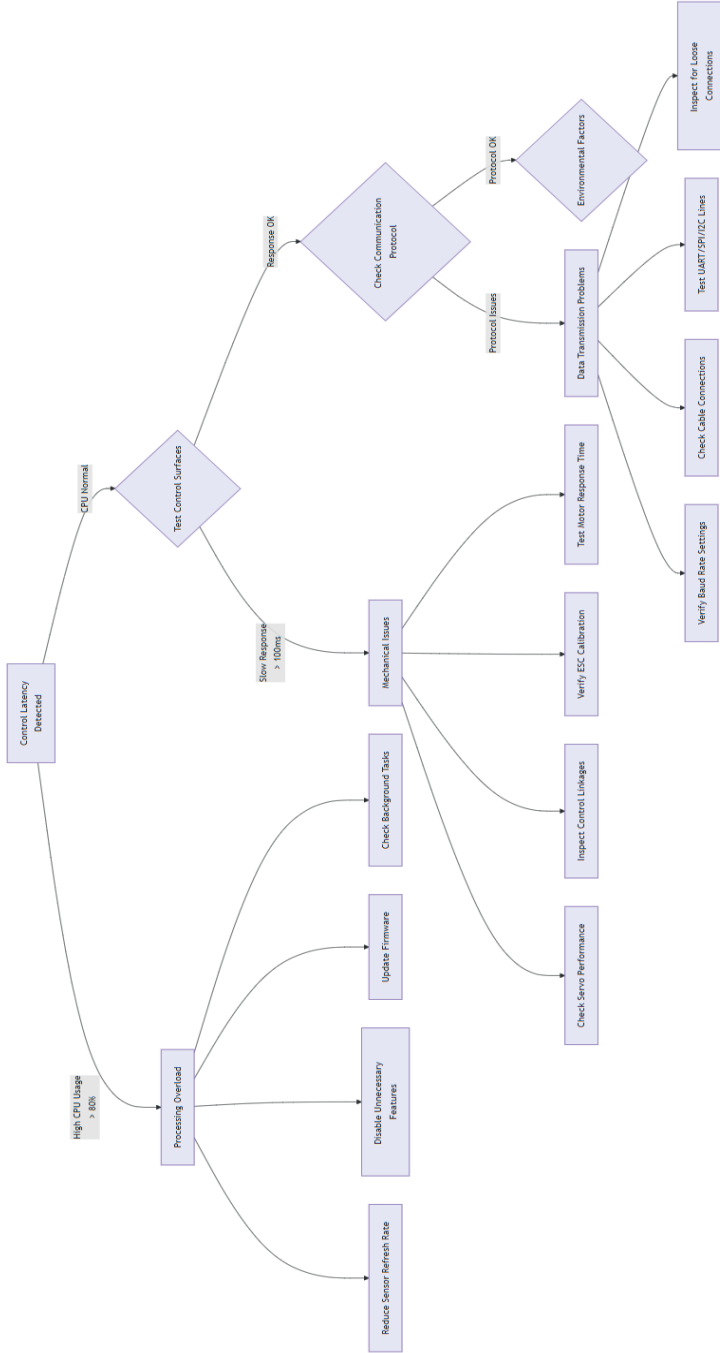
Uçuş performansı anormalliklerine ek olarak, İHA sistemleri ayrıca görev başarısını tehlikeye atabilecek çeşitli operasyonel ve elektronik

sorunlara da eğilimlidir. Video ve fotoğraf kalitesinde bozulma, genellikle hatalı gimbal kalibrasyonu, lens kirlenmesi veya hatalı SD kartlardan kaynaklanan en yaygın sorunlardan biridir. Sinyal kaybı sıklıkla yoğun kentsel ortamlarda, yüksek elektromanyetik parazitli alanlarda veya olumsuz hava koşullarında rapor edilir. Düşük batarya seviyeleri, sinyal kesintisi veya yerleşik güvenlik protokollerinin etkinleştirilmesinden kaynaklanan otomatik iniş tetikleyicileri de yaygın karşılaşılan sorunlardandır. Diğer bir yaygın sorun, aşırı mesafe, fiziksel engeller veya frekans çakışmalarından kaynaklanabilecek denetleyici bağlantı kopmalarıdır. Otonom eve dönüş arızaları, genellikle GPS kayıt hatalarına veya engel algılama hatalarına bağlıdır. Bu kategorideki diğer sorunlar, özellikle hafif dronları etkileyen yetersiz rüzgar direnci, mekanik yorgunluk veya ürün yazılımı tutarsızlıkları nedeniyle gimbal veya kamera stabilizasyonunun donmasıdır.

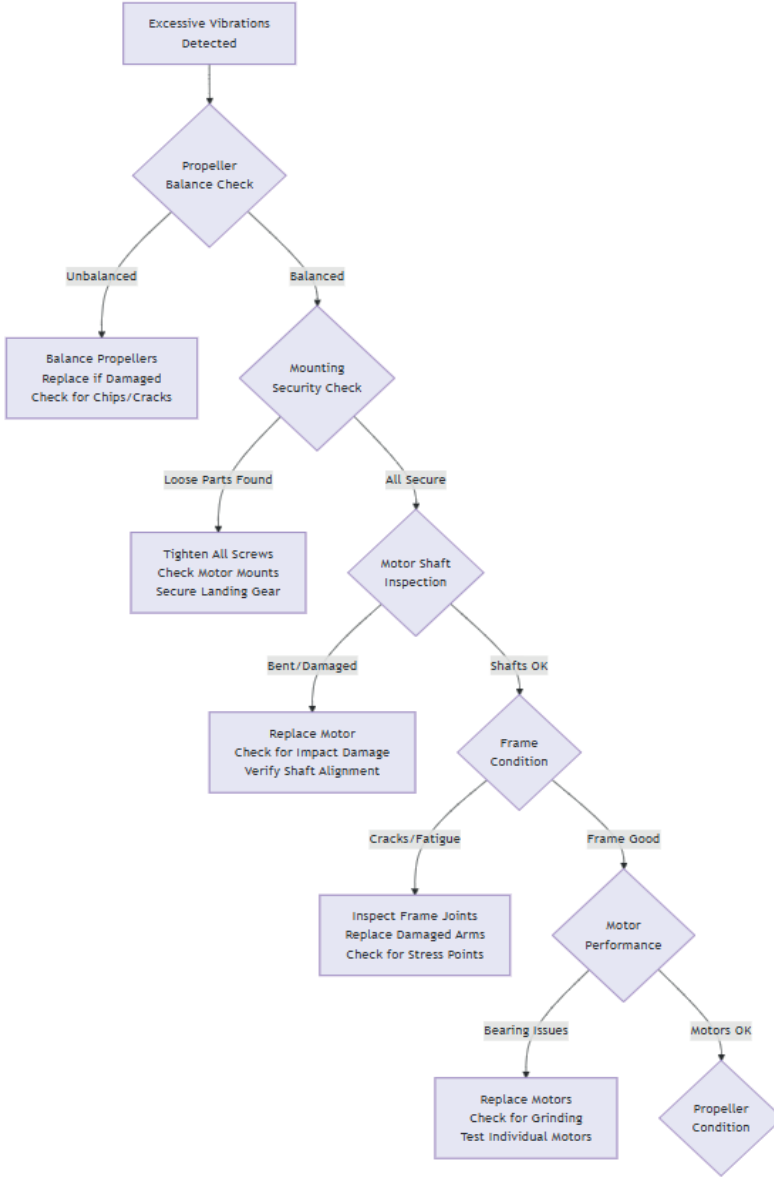
Kontrol gecikmesi, aşırı titreşimler, hoverda drift, uçuş süresinde düşüş, beklenmedik irtifa değişiklikleri, asimetrik uçuş davranışı, kararsız hover, yüksek sıcaklık ve beklenmeyen mod değişiklikleri dahil olmak üzere çeşitli sorunların giderilmesine yardımcı olmak için **Şekil 2.3.** ile **Şekil 2.12.** arasında kapsamlı akış şemaları verilmiştir. Bu diyagramlar, kullanıcılara sistematik tanılama adımlarında rehberlik ederek kök nedenlerin ve uygun düzeltici eylemlerin verimli bir şekilde tanımlanmasını sağlar. Her akış şeması, belirli semptomları ele almak, arıza süresini en aza indirmek ve operasyonel güvenliği artırmak için tasarlanmıştır. Bu yapılandırılmış prosedürleri izleyerek, kullanıcılar temel sistemleri daha iyi anlayabilir ve bilinçli bakım kararları verebilir, bu da sonuçta hem saha hem de atölyede İHA performansını ve güvenilirliğini artırabilir.



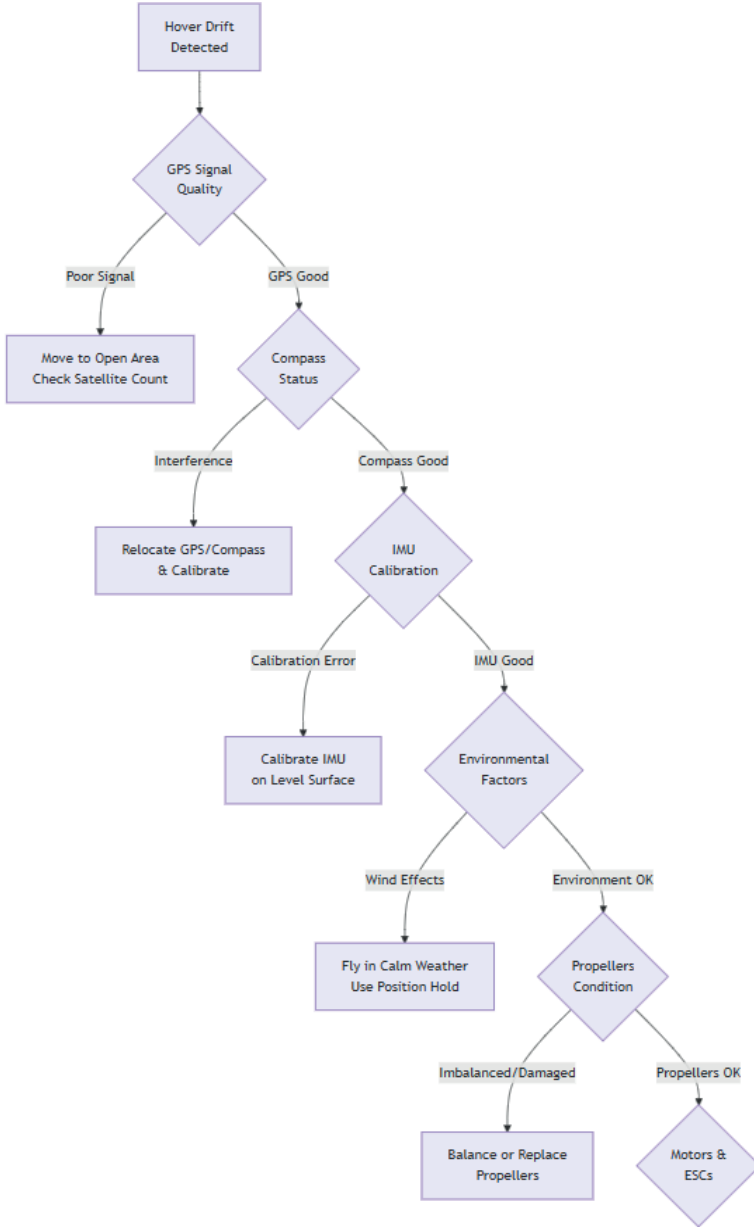
Şekil 2.3. Kontrol Gecikmesi İçin Sorun Giderme Akış Şeması (Bölüm 1)



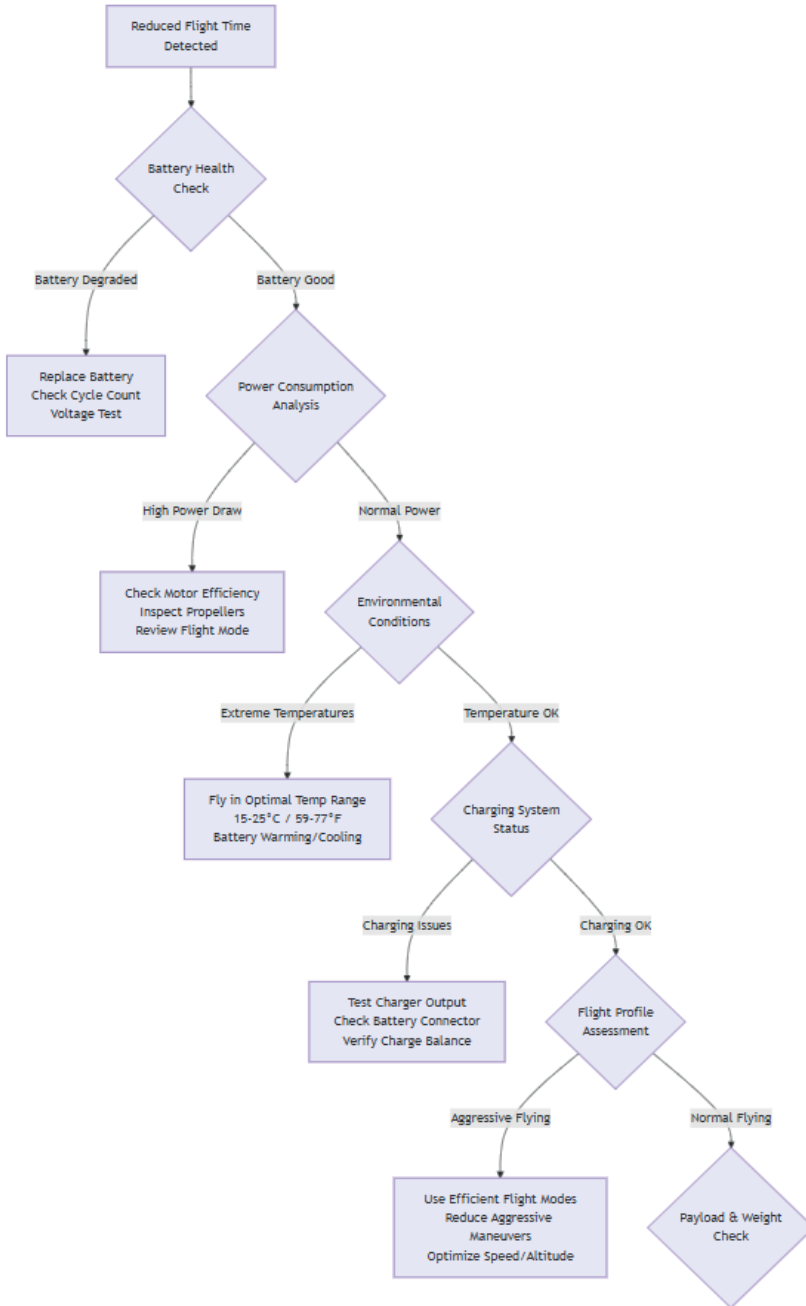
Şekil 2.4. Kontrol Gecikmesi İçin Sorun Giderme Akış Şeması (Bölüm 2)



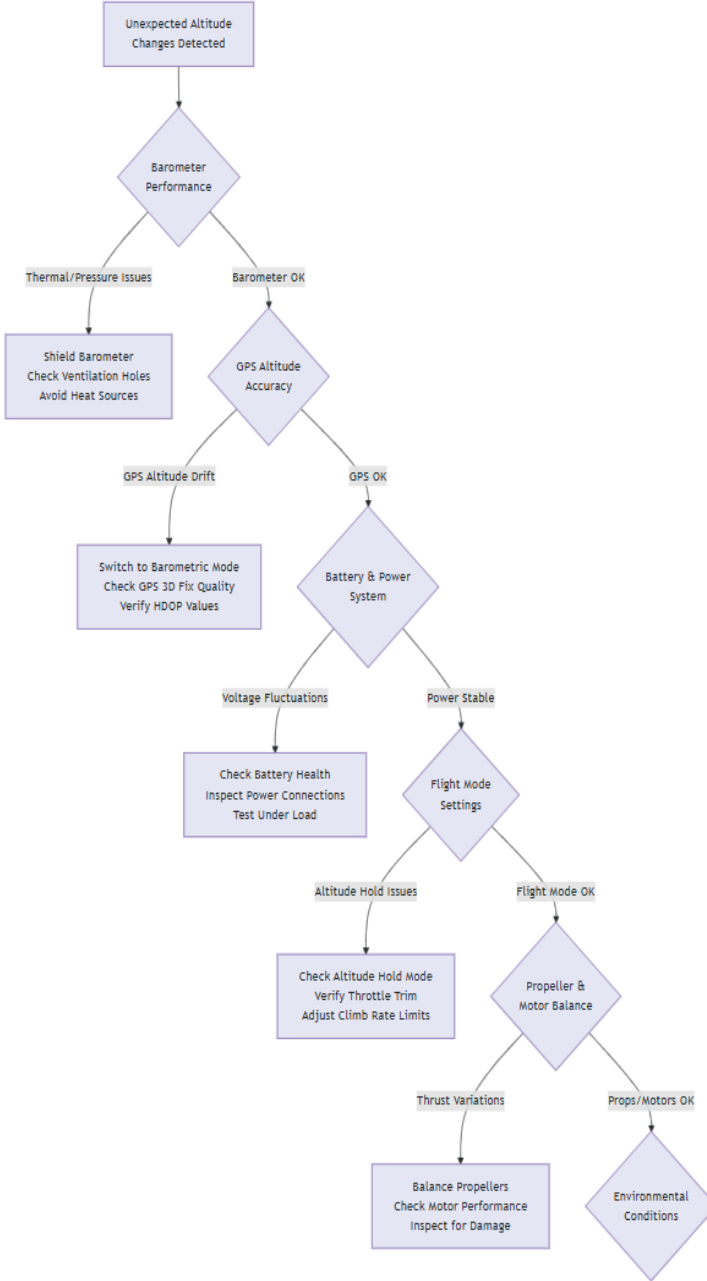
Şekil 2.5. Aşırı Titreşimleri Gidermek İçin Sorun Giderme Akış Şeması



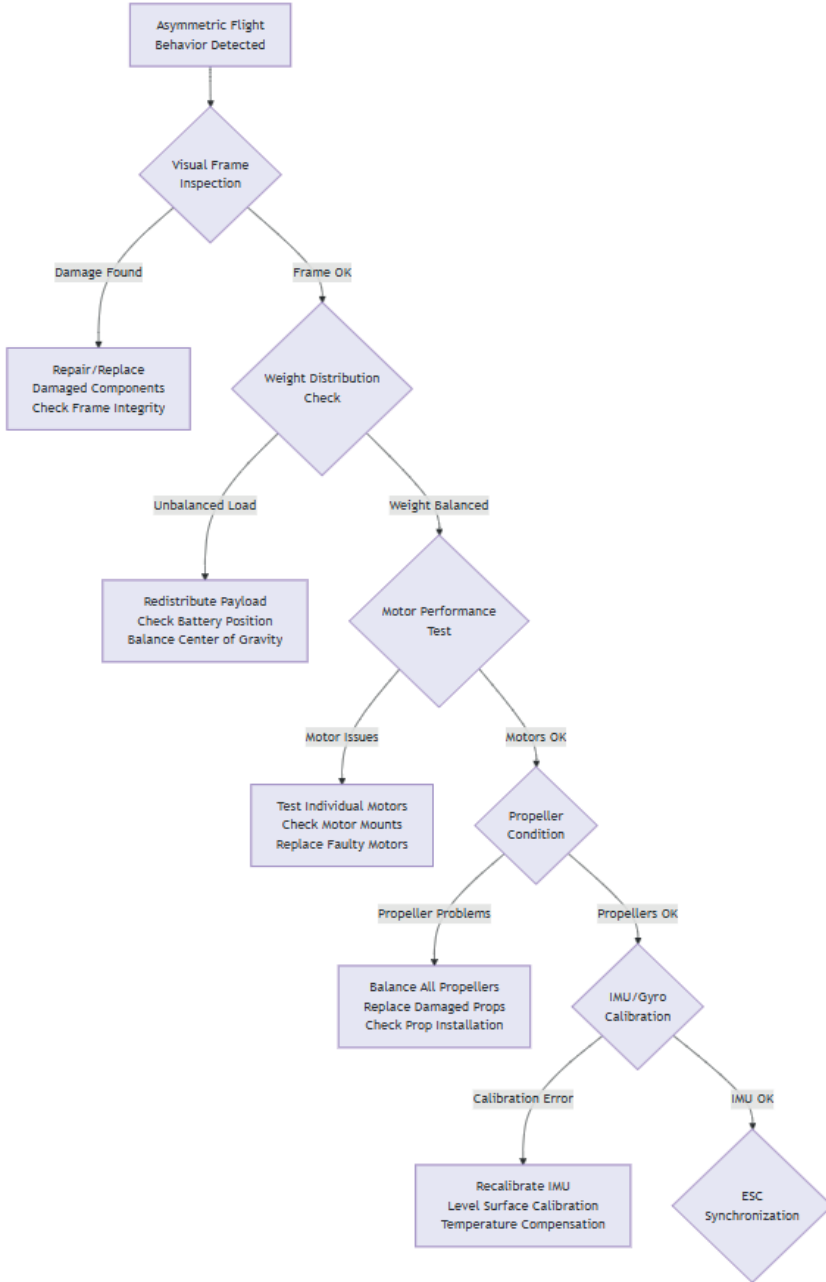
Şekil 2.6. Hover Drift İçin Sorun Giderme Akış Şeması



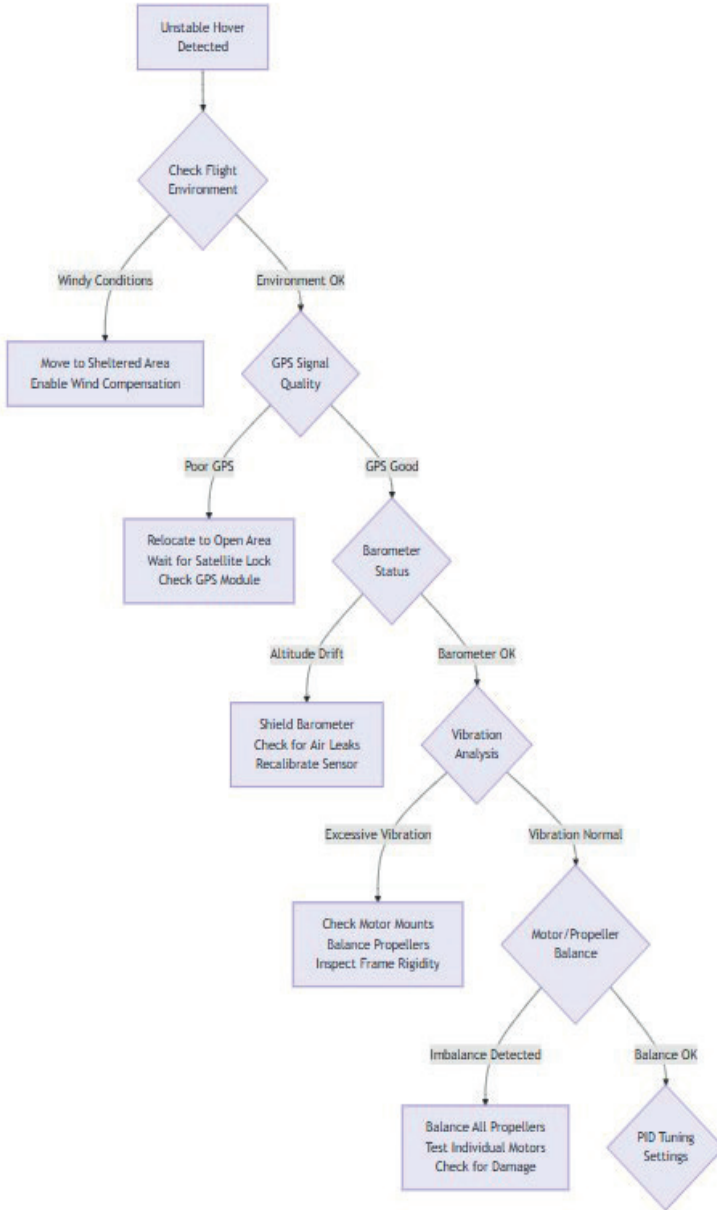
Şekil 2.7. Uçuş Süresinde Düşüş İçin Sorun Giderme Akış Şeması



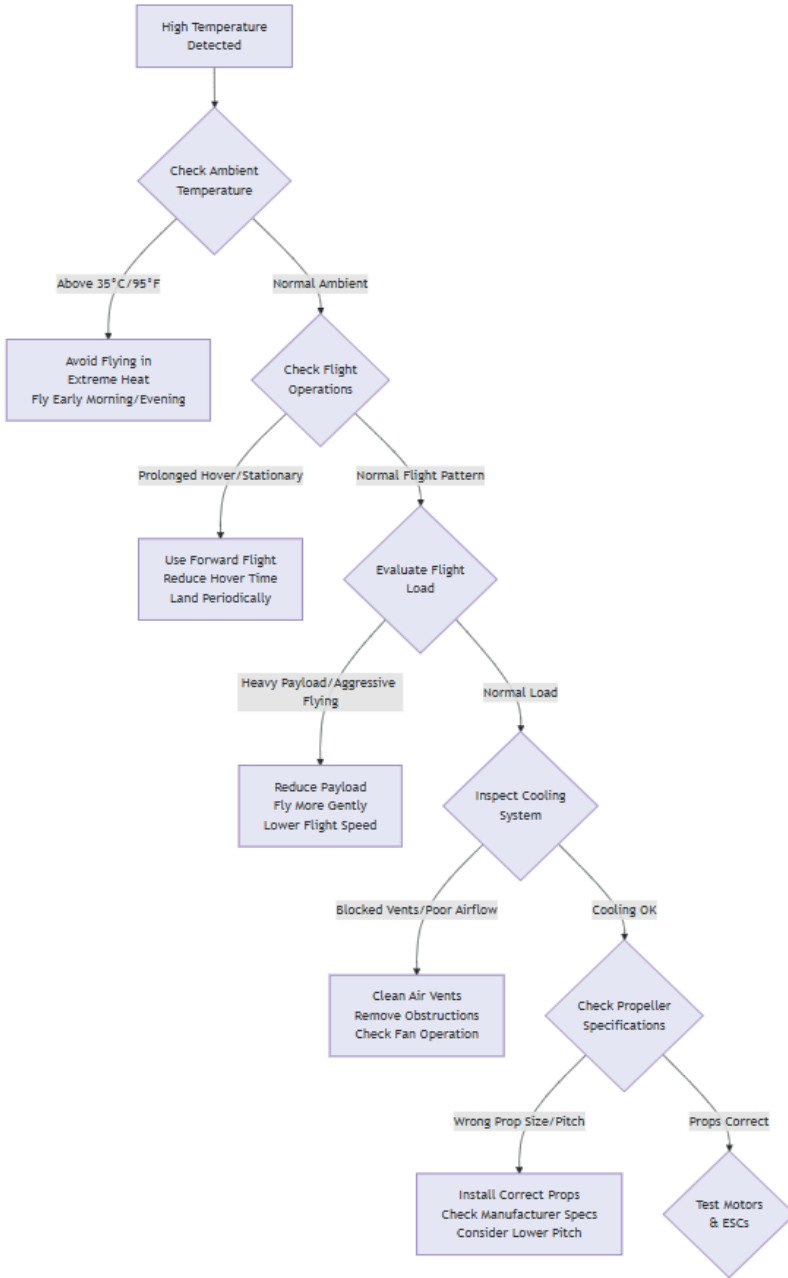
Şekil 2.8. Beklenmeyen İrtifa Değişiklikleri İçin Sorun Giderme Akış Şeması



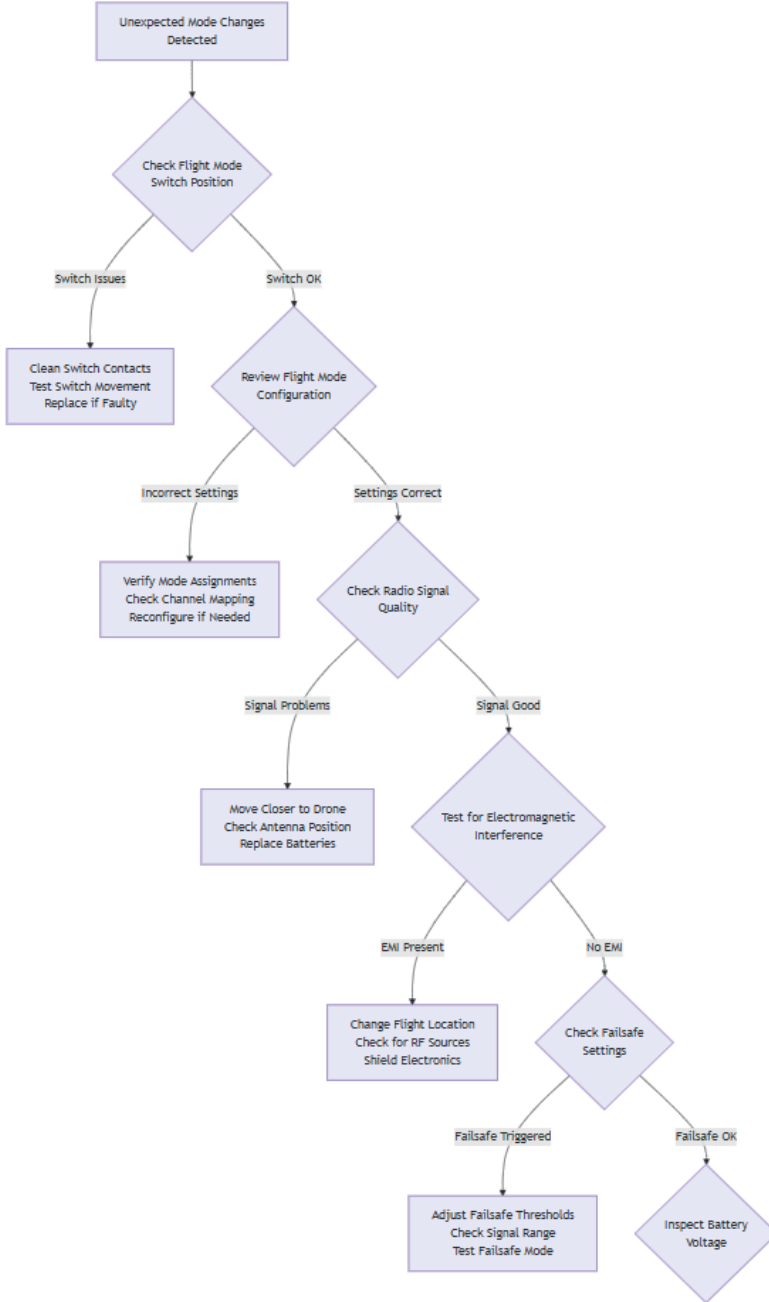
Şekil 2.9. Asimetrik Uçuş Davranışı İçin Sorun Giderme Akış Şeması



Şekil 2.10. Kararsız Hover İçin Sorun Giderme Akış Şeması



Şekil 2.11. Yüksek Sıcaklık İçin Sorun Giderme Akış Şeması



Şekil 2.12. Beklenmeyen Mod Değişikliği İçin Sorun Giderme Akış Şeması

2.6. SENSÖR KALİBRASYONLARI

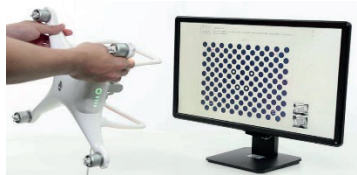
Dron sistemlerinin güvenli ve hatasız bir şekilde çalışmasını sağlamak için sensör kalibrasyonu da önemlidir. Farklı bileşenler, kullanıma ve çevresel değişikliklere bağlı olarak değişen zaman aralıklarında kalibrasyon gerektirir. Örneğin, pusula, özellikle büyük konum veya irtifa değişikliklerinden sonra en sık kalibrasyona ihtiyaç duyar. IMU, çarpışmalardan veya sıcaklık değişikliklerinden sonra yeniden kalibre edilmelidir. Gimbal, uçuş kumandası, optik akış sensörü, GPS ve ESC kalibrasyonları genellikle performans sorunları veya donanım değişiklikleri nedeniyle gerekebilir.

2.6.1. Kalibrasyon Prosedürleri

Her sensörün, yüzey stabilitesi, aydınlatma ve manyetik girişim gibi kendine özgü kalibrasyon koşulları vardır. Bu nedenle, optimum dron işlevselliğini sürdürmek için rutin kontroller kritik öneme sahiptir. Pusula ve görüş sensörü kalibrasyonu prosedürleri Şekil 2.13.'te gösterilmiştir. Tablo 2.22., pusula, IMU, gimbal, uzaktan kumanda, görüş sensörü ve ESC için kalibrasyon prosedürlerini detaylandırmaktadır.



Pusula Kalibrasyonu



Görüntü Sensörü Kalibrasyonu

Şekil 2.13. Pusula ve Görüş Sensörü Kalibrasyonu

Tablo 2.22. Pusula, IMU, Gimbal, Uzaktan Kumanda, Görüş Sensörü ve ESC Kalibrasyon Prosedürleri

Bileşen	Prosedür
Pusula Kalibrasyonu	- Dronu yatay olarak tutun, 360° döndürün. - Dikey olarak (burun aşağı) tutun, 360° döndürün.
IMU Kalibrasyonu	- Dronu düz bir yüzeye yerleştirin. Uygulama aracılığıyla kalibrasyona erişin. Sabit tutun ve ekrandaki talimatları izleyin
Gimbal Kalibrasyonu	- Dronu düz bir yüzeye yerleştirin. Gimbal hareketinin engellenmediğinden emin olun. - Uygulama aracılığıyla gimbal kalibrasyonuna erişin. Gimbal tam aralıkta hareket edecektir.
Uçuş Kumanda Kalibrasyonu	- Uygulama aracılığıyla kalibrasyona erişin - Ekran çubuğu hareket talimatlarını izleyin.
Görüntü Sensörü Kalibrasyonu	- İyi aydınlatılmış, dokulu bir alan seçin. Dronu ~0,5 m yüksekliğinde tutun. Dronu uygulama talimatlarına göre yavaşça hareket ettirin. Tutarlı irtifayı koruyun.
ESC Kalibrasyonu	- Pervaneleri çıkarın (güvenlik için). - Dronu bataryasını ve vericiyi (TX) bağlayın. - Vericiyi açın, gaz kelebeğini maksimuma ayarlayın. - Dronu açın - Bip seslerinden sonra gazı minimuma indirin; ESC'ler tekrar bip sesi çıkaracaktır. - Dronun gücünü kesin ve ardından tekrar açın

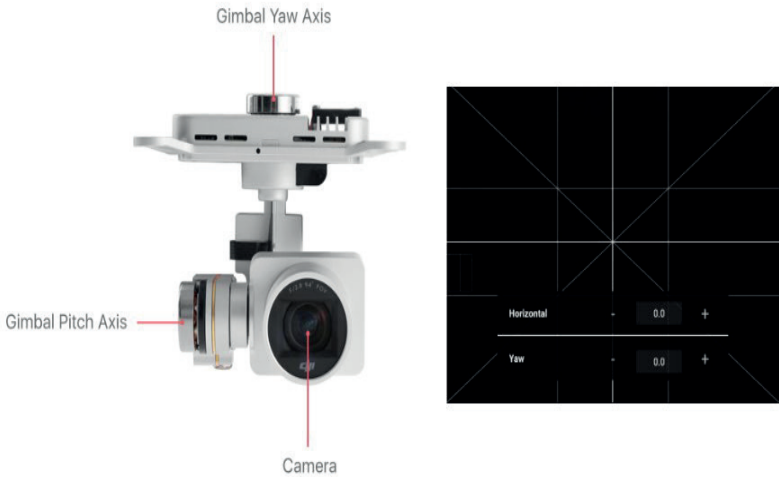
Sensör kalibrasyonu, dron kurulumunun hayati bir parçasıdır ve istikrarlı uçuş ve doğru veri toplamayı mümkün kılar. Her sensör özel bir prosedür gerektirir: pusula kalibrasyonu için dron yatay ve dikey olarak döndürülür; IMU kalibrasyonu, dronu düz bir yüzeye yerleştirmeyi ve uygulama talimatlarını izlemeyi içerir. Gimbal kalibrasyonu, gimbalin tam hareket aralığını tamamlamasını gerçekleştirebilmesi engelsiz, düz bir kurulum gerektirir. Uçuş kumanda ve gimbal kalibrasyonuna ilişkin prosedürler Şekil 2.14.'te gösterilmiştir.

Uçuş kumanda kalibrasyonu, talimatlara göre çubuklar hareket ettirilerek uygulama aracılığıyla yapılır. Optik akış sensörleri için dron, iyi aydınlatılmış, dokulu bir yüzeyin 0,5 metre üzerinde tutulur

ve yavaşça hareket ettirilir. Güvenlik için pervanenin çıkarılmasını gerektiren ESC kalibrasyonu, ESC'leri senkronize etmek için gaz kolu (throttle) seviyelerinin ayarlanmasını ve bip sinyallerinin takibini içerir. Her adım uçuş doğruluğunu ve emniyetini artırır. Tablo 2.23.'te İHA'da sıklıkla kalibrasyona ihtiyaç duyan bileşenlerin kalibrasyon frekansı, tetikleme koşulları ve temel özellikleri yer almaktadır.



Uçuş Kumanda Kalibrasyonu



Gimbal Kalibrasyonu

Şekil 2.14. Uçuş Kumandası ve Gimbal Kalibrasyonu

2.6.2. İHA'larda Kalibrasyon Frekansı, Kalibrasyonu Tetikleyen Koşullar ve Temel Özellikler

Tablo 2.23. İHA'da sıklıkla kalibrasyona ihtiyaç duyan bileşenlerin kalibrasyon frekansı, tetikleme koşulları ve temel özellikleri

Bileşen	Kalibrasyon Frekansı	Frekansı Tetikleyen Koşullar	Yararlı Bilgiler
PUSULA	En sık Her uçuştan önce veya gerektiğinde	Konum değişikliği (>50 mil/80 km) İrtifa değişikliği (>1.000 ft/300 m) Manyetik alan değişimleri Yeni bölgelere seyahat	Manyetik alan duyarlılığı Açık alan gerektirir Metal girişimi yok
IMU	Çok sık Her 30 milde (48 km) bir veya uyarı verildiğinde	Sıcaklık değişiklikleri Çökmelerden sonra Uzun depolama Sistem uyarıları	Jiroskop, ivmeölçer, manyetometre içerir Sabit bir yüzeye ihtiyaç duyar
GİMBAL	Sıkça Performans sorunları ortaya çıktığında	Ufuk eğimi (>20° Titreşim Kamera dengesizliği Stabilizasyon hataları	Düz yüzey gerektirir Tam hareket açıklığı testi
UZAKTAN KUMANDA	Orta sıklıkta Bağlama veya giriş sorunları oluştuğunda	Yeni denetleyici bağlaması Çubuk hareketleri dron yanıtıyla eşleşmezse Giriş gecikmeleri Aralık düşüşleri	Çubuk hareketi kalibrasyonu Sinyal gücü kontrolü
OPTİK AKIŞ SENSÖRÜ	Orta sıklıkta Engel algılama kötüleştiğinde	Sensör merceği kirlendiğinde Farklı yüzey tipleri (beton, çim, kum) üzerinde uçuş Konum tutma sorunları (GPS olmadan) Yükseklik değişim hassasiyeti azaldığında	Desenli/dokulu yüzeyler gerektirir. Optimum çalışma yüksekliği: 0,3-8 metre. Aydınlatma koşulları kritiktir.
GPS	Orta sıklıkta Büyük konum değişikliklerinden sonra	Ülkeler arası seyahat Zayıf GPS sinyali RTH arızaları Konum kayması	Genellikle otomatik kalibre edilir. Ürün yazılımına bağlıdır
ESC	Orta sıklıkta Motor/esc değişiminden sonra	Yeni ESC/motor takıldı Gaz kolu tutarsızlıkları Motor senkronizasyon sorunları	Modern dronlar bunu yazılım aracılığıyla halleder Gaz kolu aralığı ayarı Motor tepki kontrolü

Kalibrasyon sıklığı bileşene göre değişir ve genellikle çevresel veya performansla ilgili koşulların etkisiyle tetiklenir. Manyetik sensörlerin her uçuştan önce, özellikle uzun mesafe kat ettikten ya da manyetik alan değişikliklerine maruz kaldıktan sonra kalibrasyona ihtiyacı vardır. IMU, sıcaklık kaymaları, çarpışmalar veya uyarılar gibi sabit bir yüzeye ihtiyaç duyulmasını gerektiren durumlar nedeniyle çok sık kontrol edilmelidir. Kamera sabitleme sorunları ortaya çıktığında gimbal kalibrasyonu gereklidir. Uzaktan kumandalar ve optik akış sensörleri, özellikle eşleşme (bind) değişikliklerinden sonra veya uçuş doğruluğu düştüğünde orta sıklıkta kalibrasyon gerektirir. GPS ve ESC'lerin de önemli konum değişikliklerinden veya donanım değişiminden sonra yeniden kalibrasyon gerektirir, ancak modern sistemler genellikle kısmi otomatik kalibrasyonu destekler.

2.7. UÇUŞ LOGLARI

Uçuş logları dron operasyonlarının kritik bir bileşenidir ve her görevin kapsamlı bir dijital ayak izi sunar. Dronun davranışı, pilot eylemleri, çevresel koşullar ve sistem performansı hakkında temel bilgiler sağlar. Bu logları analiz etmek, orijinal verilerin güvenliğini sağlamaktan ve bütünlüğünü doğrulamaktan dronlar, uygulamalar veya mobil cihazlar gibi birden çok kaynaktan log kayıtlarını almaya kadar yapılandırılmış bir adli bilişim sürecini içerir. Şekil 2.15., en yaygın kullanılan uçuş logları inceleme araçlarını göstermektedir. Araştırmacılar, Mission Planner, PX4 Flight Review ve adli yazılım gibi özel araçlar aracılığıyla uçuş yollarını, GPS verilerini, güç sistemlerini, sensör doğruluğunu ve daha fazlasını inceler. Bu çok yönlü analiz, olay zaman çizelgelerinin yeniden yapılandırılmasına, havacılık düzenlemelerine uygunluğun değerlendirilmesine ve olası kaza nedenlerinin hassas bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur.



Şekil 2.15. Uçuş logları inceleme araçları

26 adımlı süreç beş ana kategori altında gruplanmıştır: Ön inceleme ve veri toplama, ilk değerlendirme ve veri doğrulama, insan ve operasyonel faktörler, olayın yeniden yapılandırılması ve neden-sonuç ilişkisi, son raporlama ve risk değerlendirmesi (Bkz. Tablo 2.24.-2.28.).

Tablo 2.24. Uçuş logları için ön inceleme ve veri toplama adımları

Ön İnceleme ve Veri Toplama		
Adım	Prosedür ve Parametreler	Araçlar/Yazılım
Ön Soruşturma Kurulumu	- Güvenli gözetim zinciri - Orijinal dosyaları belgeleyin - Adli kopyalar oluşturun - Dosya bütünlüğünü doğrulayın	- MD5/SHA karma araçları - Yazma engelleyicileri - Adli görüntüleme yazılımı
Logların Alımı	- Logları dron/uygulama/SD karttan indirin - Gerekirse mobil cihazlardan ayıklayın	- DJI Yardımcısı 2 - Sunak Gezgini - Yuneec Veri Pilotu - Görev Planlayıcısı - PX4 Uçuş İncelemesi
Yasal ve Uygunluk Kontrolü	- Hava sahası kısıtlamaları - Uçuş izinleri - Sigorta geçerliliği	- Yerel Yönetim veritabanı - LAANC sistemi - Operatör sertifikası veritabanı

Tablo 2.25. Uçuş logları için ilk değerlendirme ve veri doğrulama adımları

<i>İlk Değerlendirme ve Veri Doğrulama</i>		
Adım	Prosedür ve Parametreler	Araçlar/Yazılım
Log İncelemesi	- Uçuş süresi - Temel parametreler - Hata mesajları - Sistem uyarıları	- Açık kaynak araçları (MAVExplorer) - Yerel üretici yazılımı
Çevresel Veri Analizi	- Rüzgar hızı/yönü - Görünürlük - Sıcaklık	- Hava Durumu API'leri - METAR verileri - Geçmiş hava durumu veritabanları
Uçuş Rotası ve GPS Analizi	- GPS koordinatlarını çiz - Uçuş yolunu analiz et - Sapmaları kontrol edin - GPS sinyal kalitesi	- Görev Planlayıcısı - Şimdi Uçuyor - Dron Dağıtımı - Google Earth Pro
İrtifa ve Hava Hızı Analizi	- İrtifa değişiklikleri - Hız değişimleri - Tırmanış/iniş oranları - Hava hızı anormallikleri	- PX4 Uçuş İncelemesi - Kule, Özel analiz komut dosyaları
Tutum ve İstikrar Analizi	- Eğim, yuvarlanma, sapma açılarını analiz edin - Salınımları, olağandışı hareketleri kontrol edin	- MAVExplorer - Görev Planlayıcısı - MATLAB/Python betikleri
Güç Sistemi Analizi	- Akü voltajı - Akım çekilişi - Güç tüketimi - Termal koşullar	- DJI Yardımcısı 2 - Batarya analiz araçları - Özel panolar
Motor ve İtki Analizi	- Motor Devri - ESC verileri - İtme çıkışı - Pervane verimliliği	- PX4 Uçuş İncelemesi - Görev Planlayıcısı - Motor test yazılımı
İletişim ve Kontrol Analizi	- Radyo sinyal gücü - Kontrol girişleri - Telemetri verileri - Bağlantı kalitesi	- MAVLink araçları - Radyo analiz yazılımı - Sinyal gücü ölçerler
Sensör Veri Doğrulaması	- IMU, pusula, barometre, GPS veri tutarlılığını ve doğruluğunu doğrulayın	- Görev Planlayıcısı - Sensör kalibrasyon araçları - Veri doğrulama komut dosyaları
Uçuş Modu ve Otomasyon Analizi	- Otonom modları, ara nokta yürütmeyi, eve dönüş performansını gözden geçirin	- Görev planlama yazılımı - Otopilot analiz araçları
Titreşim ve Mekanik Analiz	- İvmeölçer verilerinde FFT analizi kullanın	- MATLAB/Python FFT araçları

Yük ve Kamera Analizi	- Rezonans ve mekanik sorunları kontrol edin - Gimbal performansı, kamera stabilitesi, yük ağırlığı etkilerini kontrol edin	- Titreşim analizi yazılımı - Spektrum analizörleri - Gimbal analiz araçları, - Görüntü sabitleme yazılımı - Ağırlık/denge hesaplayıcıları
-----------------------	--	--

Tablo 2.26. Uçuş kayıtları için insan ve operasyonel faktörler adımları

<i>İnsan ve Operasyonel Faktörler</i>		
Adım	Prosedür ve Parametreler	Araçlar/Yazılım
İnsan Faktörleri Analizi	- Pilot girdileri, karar vermeyi, yanıt sürelerini, eğitim kayıtlarını değerlendirin	- Uçuş veri kayıt cihazları - Pilot kayıt defterleri - Eğitim veritabanları
Geofencing ve Uçuşa Yasak Bölge Analizi	- Hava sahası kısıtlamalarına uygunluğu, coğrafi sınırlama etkinliğini doğrulayın	- Geofencing veritabanları - Hava sahası haritaları - NFZ doğrulama araçları
Elektromanyetik Girişim Analizi	- RF paraziti, GPS sıkışması, iletişim kesintisi olup olmadığını kontrol edin	- Spektrum analizörleri - RF parazit dedektörleri - EMI analiz araçları

Tablo 2.27. Uçuş kayıtları için olay yeniden yapılandırması ve nedensellik adımları

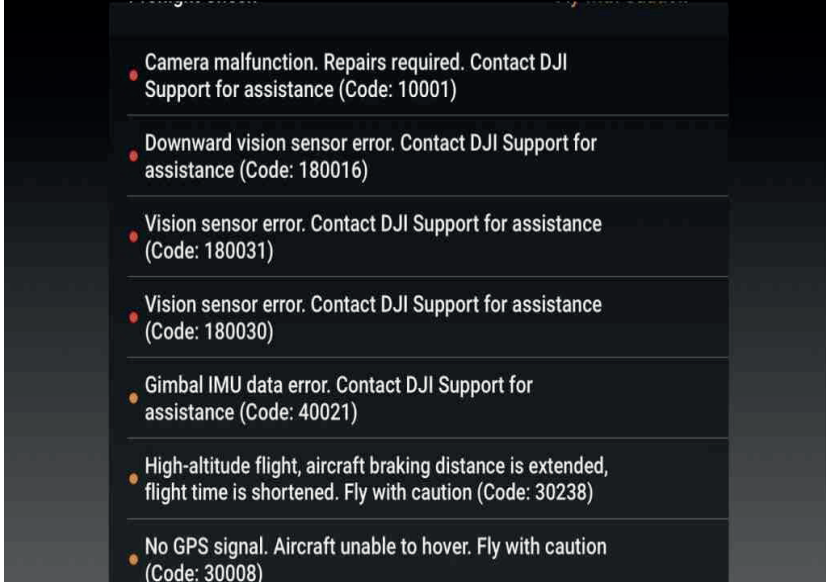
<i>Olayın Yeniden Yapılandırılması ve Nedensellik</i>		
Adım	Prosedür ve Parametreler	Araçlar/Yazılım
Olay Zaman Çizelgesi Yeniden Yapılandırması	- Olaya yol açan olayların ayrıntılı zaman çizelgesini oluşturun	- Zaman çizelgesi analiz yazılımı - Olay korelasyon araçları - Adli zaman çizelgesi araçları
Karşılaştırmalı Analiz	- Temel uçuşlar, benzer olaylar, üretici verileri ile karşılaştırın	- İstatistiksel analiz araçları - Karşılaştırmalı veritabanları - Trend analizi
Kök Neden Analizi	- Sistematik inceleme yöntemlerini uygulayın (5-Neden, Kılçık, FMEA)	- Kök neden analizi yazılımı - Araştırma çerçeveleri

Tablo 2.28. Uçuş logları için nihai raporlama ve risk inceleme adımları

<i>Nihai Raporlama ve Risk İncelemesi</i>		
Adım	Prosedür ve Parametreler	Araçlar/Yazılım
Dijital Adli Bilişim	- Mobil cihazlardan veri ayıklayın - Uygulama verilerini analiz edin - Silinen dosyaları kurtar	- Cellebrite - Oksijen Adli Bilişim - Örtmek - Mobil adli bilişim araçları
Uyumluluk ve Mevzuat Analizi	- Yönetmeliklere, operatör sorumluluklarına, bakım kayıtlarına uygunluğu kontrol edin	- Düzenleyici veritabanları - Uyumluluk kontrol listeleri - Denetim izleri
Hava Etki Değerlendirmesi	- Havanın uçuş performansı üzerindeki etkilerini analiz etmek, pilot karar verme	- Hava durumu analiz araçları - Meteorolojik veriler - Etki modelleri
Risk Değerlendirmesi	- Risk faktörlerini, güvenlik marjlarını, tehlike tanımlamasını değerlendirin	- Risk değerlendirme araçları - Güvenlik analizi yazılımı - Tehlike veritabanları
Kanıt Dokümantasyonu	- Tüm bulguları belgeleyin, görsel sunumlar oluşturun, yasal raporlar hazırlayın	- Rapor oluşturma araçları - Kanıt yönetim sistemleri, Yasal dokümantasyon

2.8. HATA KODU YORUMLAMA

İHA'larda sorunlar ortaya çıktığında, dahili sistemler sorunun doğasını belirtmek için hata kodları üretir. Bu hata kodlarını anlamak ve yorumlamak, etkili sorun giderme, bakım ve güvenli çalışma için çok önemlidir. Bu bölüm, genel kategorileri, markaya özel kodları ve diğer teşhis göstergeleri gibi İHA hata kodu yorumlamasının çeşitli yönlerini ele alır. Bu yönler, farklı İHA platformlarındaki ortak sorunların temel bir şekilde anlaşılmasını sağlayan genel dron hata kodları kategorilerini içerir. Ek olarak, markanın yaygın kullanımı ve benzersiz teşhis sistemi nedeniyle DJI dron hata kodları detaylı bir şekilde incelenir. Açık kaynaklı platformlar kapsamında bu bölüm, ArduPilot hata kodlarını araştırarak ve bu sistemlerin hataları nasıl ilettiğine dair içgörüler sunar. Metin kodlarının ötesinde, LED desenleri dron durumunun ve hatalarının görsel göstergeleri olarak hizmet ederken, uzaktan kumanda bip kodları operatörlerin uçuş sırasındaki sorunları hızlı bir şekilde tanımlamasına ve bunlara yanıt vermesine yardımcı olan işitsel ipuçları sağlar.



● Camera malfunction. Repairs required. Contact DJI Support for assistance (Code: 10001)
● Downward vision sensor error. Contact DJI Support for assistance (Code: 180016)
● Vision sensor error. Contact DJI Support for assistance (Code: 180031)
● Vision sensor error. Contact DJI Support for assistance (Code: 180030)
● Gimbal IMU data error. Contact DJI Support for assistance (Code: 40021)
● High-altitude flight, aircraft braking distance is extended, flight time is shortened. Fly with caution (Code: 30238)
● No GPS signal. Aircraft unable to hover. Fly with caution (Code: 30008)

Şekil 2.16. DJI Hata Kodları

2.8.1. Hata Sınıflandırma ve Önceliklendirme

Birden çok kaynaktan mevcut tüm hata bilgilerini sistematik olarak toplayın. Bu süreç; kontrolörde veya yer kontrol istasyonunda görüntülenen hata kodlarının kaydedilmesini, LED desenlerinin ve zamanlamalarının not edilmesini, belirli bip seslerinin dinlenmesini, mobil uygulama bildirimlerinin kontrolünü ve uçuş loglarının erişilebiliyorsa gözden geçirilmesini kapsar. Hatalara yol açan olayların sırasını ve çevresel faktörleri (hava durumu, konum, parazit kaynakları) belgeleyin. Hata türlerine kapsamlı bir bakış Tablo 2.29.'da sunulmuştur. Hatayı sistem türüne (uçuş kontrolü, itki, navigasyon, iletişim, faydalı yük) ve önem derecesine göre sınıflandırılır. Temel stabiliteyi veya kontrolü etkileyen uçuş açısından kritik hatalar mutlak önceliğe sahiptir, bunu görev başarısını etkileyen navigasyon ve iletişim hataları, ardından faydalı yük ve kolaylık özelliği hataları takip eder. Bu sınıflandırma, görevin iptal edilip edilmeyeceğini, geçici çözümlerin uygulanıp uygulanmayacağını veya değiştirilmiş prosedürlerle devam edip edilmeyeceğini belirlemeye yardımcı olur.

Tablo 2.29. Genel Hata Kategorizasyonu

Kategori	Açıklama
Motor/Pervane/ESC Hataları	Motor dönmüyor, ESC aşırı ısınıyor veya senkronizasyon bozuluyor.
Batarya/PDB Hataları	Voltaj düşmesi, aşırı akım, düşük voltaj, batarya algılanmadı.
İletişim Hataları	Telemetri kaybı, RC bağlantı kaybı, MAVLink zaman aşımı.
Gimbal ve Kamera Hataları	Gimbal sabitlenmiyor, ufuk eğimi, kamera besleme kaybı, görüntü bozulması.
Pusula Hataları	Manyetik parazit, kalibrasyon hatası veya pusulalar arasındaki uyumsuzluk.
GPS Hataları	Zayıf/sinyal yok, zayıf uydu geometrisi veya anten arızası.
IMU/İvmeölçer Hataları	Kalibrasyon hatası, sensör kayması, sıcaklık sorunları.
Barometre Hataları	Yükseklik sensörü sorunları, tıkalı havalandırma, sıcaklık kayması.
Görüntü Sensörü Hataları	Engel algılama hatası, zayıf yüzey takibi, kirli veya tıkalı lens.
Yazılım Hataları	Ürün yazılımı çökmeleri, parametre bozulması, uyumsuz yapılandırma veya sistem önyükleme hatası.

2.8.2. DJI Dron Hata Kodları

DJI hata kodları, her kod belirli bir kategoriye veya sorun türünü temsil edecek şekilde sayısal bir sıra halinde düzenlenir. Bu yapılandırılmış yaklaşım, kullanıcıların kod numarasına göre sorunları hızlı bir şekilde tanımlamasına ve gidermesine olanak tanır. Tablo 2.30.-2.37.'de DJI dronlarının hata kodları sınıflarına göre listelenmiştir.

Tablo 2.30. DJI Dronlar için Kamera ve SD Kart Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
10001	Kamera arızası	Kamerayı kalibre edin
10016	Kamera kalibre edilmedi	SD kartı takın
10022	SD kart yok	Kartı yeniden takmayı veya SD kartı değiştirmeyi deneyin
10023	SD kart arızası	Havada asılı kalamıyor, dikkatli uçuyor

Tablo 2.31. DJI Dronlar için GPS ve Barometre Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
30004	Uçak tutum modunda	GPS modülünü onarın veya değiştirin
30007	GPS sinyali yok	Ortamı kontrol edin, GPS onarımına ihtiyaç duyabilir
30008	GPS sinyali yok/zayıf sinyal	RC bağlantısını kontrol edin
30047	Barometre başlatılamadı	Uçağı yeniden başlatın veya GPS modülünü değiştirin
30049	GPS Modülü Hatası	IMU'yu kalibre edin, GPS modülü onarımına ihtiyaç duyabilir

Tablo 2.32. DJI Dronlar için Motor ESC ve Pervane Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
30045	Motor rölantide çalışıyor	Pervanelerin engellenmediğinden emin olun.
30046	Motor aşırı yüklendi	Fazla yükü kaldırın.
30047	Yeterli Kuvvet Yok/ESC Hatası	Motor ve ESC bağlantılarını kontrol edin.
30165	Motor sıkışmış	Fiziksel engelleri kontrol edin.
30168	Maksimum güç yüküne ulaşıldı	Agresif manevralardan kaçınin.
30210	Güç sistemi donanımı	Uçağı yeniden başlatın. Çözülmezse, bellenimi güncelleyin

Tablo 2.33. DJI Dronlar için IMU ve Pusula Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
30050	IMU kalibrasyonu gerekli	Ayarlarda IMU'yu kalibre edin
30055	IMU kalibre edilmedi	IMU'yu kalibre etme
30060	Pusula hatası	Metal nesneleri çıkarın, pusulayı kalibre edin
30082	IMU'nun tutumu kısıtlı	Uçağın düz olduğundan emin olun

Tablo 2.34. DJI Dronlar için Batarya Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
30068	Batarya yanlış takılmış	Bataryayı çıkarın ve yeniden takın
30078	Batarya gücü düşük	Bataryayı kontrol edin/şarj edin/ısıtın
110002	Bataryanın aşırı ısınması	GPS modülünü kontrol edin/değiştirin
110024	Batarya hatası- otomatik RTH	Uçuşu kes, bataryanın soğumasına izin ver

Tablo 2.35. DJI Dronlar için Uzaktan Kumanda ve Diğer Hatalar

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
30029	Uzaktan kumandanın bağlantısı kesildi	Uçağı yeniden başlat
30064	Kalkış yapılamıyor	Uçuş alanı kısıtlamalarını kontrol edin, gerekirse yeniden başlatın
30226	Kalkış başarısız oldu	Kalkış koşullarını kontrol edin

Tablo 2.36. DJI Dronlar için Gimbal Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
40002	Gimbal sıkışmış	Gimbal kapağının çıkarıldığını kontrol edin, serbest dönüşü sağlayın
40003	Gimbal motoru aşırı yüklenmiş	Gimbal'ın serbestçe dönebildiğini kontrol edin
40011	Gimbal kalibrasyon hatası	Uçağı yeniden başlat
40012	Gimbal bağlanamıyor	Gimbal'ı değiştirin
40021	Gimbal IMU veri hatası	GPS modülünü onarın veya değiştirin

Tablo 2.37. DJI Dronlar için Görüntü Sensörü Hataları

Hata Kodu	Açıklama	Muhtemel Çözüm
180016	Aşağı görüş sensörü hatası	Dronu yeniden başlatın. Çözülmezse, sensörlerin değiştirilmesi gerekir
180018	İleri görüş sensörü hatası	Sensörleri kontrol edin/temizleyin
180030 /31	Görüş sensörü hatası	Dronu yeniden başlatın. Çözülmezse, sensörlerin değiştirilmesi gerekir. DJI Destek ile iletişime geçin

2.8.3. ArduPilot Hata Kodları

Uçuş öncesi kontroller sırasında, İHA sistemleri, kullanıcıları potansiyel güvenlik veya yapılandırma sorunları hakkında uyarmak için özel uyarı kodları görüntüler. Bu kodları anlamak, istikrarlı uçuş performansının sağlanmasına yardımcı olur ve hava arızalarını önler. Aşağıdaki tabloda sık karşılaşılan hata mesajları, anlamları ve önerilen eylemler listelenmiştir. Tablo 2.38., sık karşılaşılan hataların bir listesini sunar.

Tablo 2.38. Yaygın ArduPilot Hata Mesajları

Kod	Anlam	Eylem
PreArm: Pusula kalibre edilmedi	Pusula hazır değil	Pusulayı kalibre edin
EKF varyansı	Sensör füzyon arızası	IMU/GPS/pusulayı kontrol edin
GPS Arızası	Ani GPS sinyali sapması	Anteni kontrol edin, açık alana taşıyın
Kötü AHRS	Tutum tahmini hatası	IMU'yu yeniden kalibre edin
RC Alıcısı Yok	Denetleyiciden sinyal yok	Bağlantıyı/bağlama denetleyicisini kontrol edin

2.8.4. Hata İletişim Yöntemleri

LED ışık desenleri yorumlama yöntemi, yanıp sönen ışıkların kullanılmasını içerir. Örneğin, hızlı kırmızı yanıp sönmeye, motor arızası veya ESC hatası gibi kritik bir hataya işaret edebilirken, sabit bir yeşil ışık genelde normal çalışmayı gösterir. Yavaş sarı yanıp sönmeye genellikle GPS'in kilitli olmadığı veya kalibrasyon gerektiği anlamına gelir. Ziller (buzzer) veya hoparlörler, kullanıcıyı belirli sistem koşulları veya sorunları konusunda uyarmak için bip sesi çıkarabilir. Örneğin, bir bip sesi bataryanın bağlı olduğunu gösterebilir, üç hızlı bip sesi bir ESC veya motor hatası önerebilir ve sürekli bip sesi düşük batarya veya etkinleştirilmiş arıza güvenliği konusunda uyarı verebilir. Bu ses sinyalleri, uçuş öncesi kontroller sırasında veya dron görüş alanı dışındayken ancak yine de işitme menzili içindeyken geçerlidir. DJI Fly gibi mobil uygulamalar, açılır pencereler veya bildirimler aracılığıyla hata mesajları görüntüler. Bu mesajlar, "Pusula Kalibrasyonu Gerekli", "GPS Sinyali Yok" veya "Batarya Kritik Derecede Düşük - İniş" gibi doğrudan, kullanıcı dostu geri bildirimler sağlar. Masaüstü veya tabletteki Görev Planlayıcı gibi Yer Kontrol İstasyonu (GCS) yazılımı, gerçek zamanlı telemetri tabanlı uyarılar sunar. Bunlar, "EKF Varyansı" veya "Arızaya Karşı Güvenli: RTL ile tetiklendi" gibi HUD (Heads-Up Display) uyarılarını, durum çubuğu mesajlarını veya canlı bir harita üzerinde bir sorunun konumunu ve doğasını gösteren renk kodlu katmanları içerebilir. Hata göstergesi için farklı geri bildirim yöntemleri Tablo 2.39.'da özetlenmiştir.

Tablo 2.39. Hata Geri Bildirim Yöntemleri

Kategori	Açıklama
LED Işık Deseni Yorumlama	Belirli desenlerde veya renklerde yanıp sönen ışıklar (genellikle RGB LED'ler) kullanma
Ses/Bip Kodları	Ziller veya hoparlörler ses kalıpları üretir
Mobil Uygulama Hata Mesajları	Eşlik eden mobil uygulama (ör. DJI Fly) metin veya açılır mesajlar gösterir
Yer Kontrol İstasyonu Uyarıları	GCS yazılımı (örneğin, Görev Planlayıcısı) canlı telemetri tabanlı uyarılar verir.

References

- Austin, R. (2010). *Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and integration*. Wiley.
- Bhamidipati, K. K., Uhlig, D., & Neogi, N. (2007). Engineering safety and reliability into UAV systems: Mitigating the ground impact hazard. In *Proceedings of the AIAA 2007 Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Hobbs, A., & Herwitz, S. (2006, May). *Human challenges in the maintenance of unmanned aircraft systems*. NASA. Moffett Field, CA, USA.
- Li, Q., Cui, L., Wang, Q., Guo, A., & Yuan, H. (2025). Construction and application of an agent-based intelligent operation and maintenance system for UAV. *Drones*, 9(4), 309.
- Nordin, M. H., Sharma, S., Khan, A., Gianni, M., Rajendran, S., & Sutton, R. (2020). Collaborative unmanned vehicles for inspection, maintenance, and repairs of offshore wind turbines. *Drones*, 4(6), 137.
- Paggi, R., Mariotti, G. L., Paggi, A., & Leccese, F. (2015). Optimization of availability operation via simulated prognostics. In *Proceedings of the Metrology for Aerospace, 2nd IEEE International Workshop* (pp. 44–48). IEEE.
- Petriloti, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2018). Reliability degradation, preventive and corrective maintenance of UAV systems. In *Proceedings of the 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)* (pp. 430–434). IEEE.
- Yang, L., Jia, G., Zheng, K., Wei, F., Pan, X., Chang, W., & Zhou, S. (2022). An unmanned aerial vehicle troubleshooting mode selection method based on SIF-SVM with fault phenomena text record. *Applied Sciences*, 12(11), 5347.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BAKIM PROSEDÜRLERİ

Yazarlar

Cosmin Daniel Nedelcu¹

Lucia Anișoara Raileanu²

Olaru Gheorghe³

Matei Cristian⁴

¹Prof., Scoala Militara de Maistri Militari si Subofiteri a Fortelor Aeriene ‘Traian Vuia’ Romania, e-mail: nedelcucosmin@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-4438-4386>

²Dr., Scoala Militara de Maistri Militari si Subofiteri a Fortelor Aeriene ‘Traian Vuia’ Romania, e-mail: lucia.raileanu19@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-4438-4386>

³Prof., Scoala Militara de Maistri Militari si Subofiteri a Fortelor Aeriene ‘Traian Vuia’ Romania, e-mail: smmmsfaboboc@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4610-4056>

⁴Technician, Scoala Militara de Maistri Militari si Subofiteri a Fortelor Aeriene ‘Traian Vuia’ Romania, e-mail: smmmsfaboboc@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5017-3511>

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

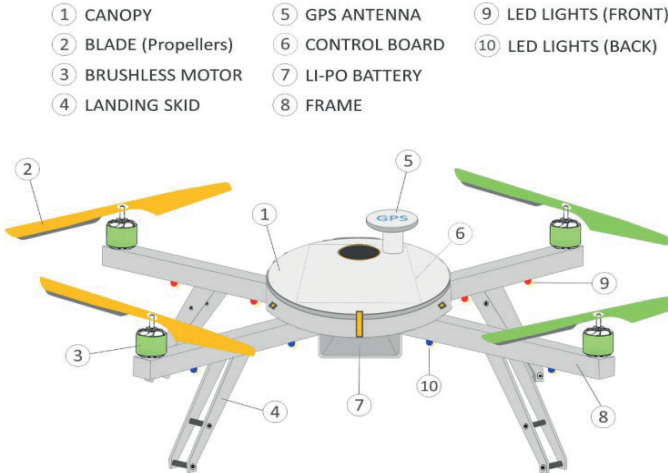
BAKIM PROSEDÜRLERİ

3.1. UÇUŞ ÖNCESİ KONTROL LİSTELERİ

Dronun güvenliğini ve optimum performansını korumak için düzenli kontroller çok önemlidir (Şekil 3.1.). Bu kontroller, uçuş öncesinde olası sorunları tespit etmeye ve riskleri önlemeye yardımcı olur.

Dronun kolları, eklemlerde çatlak, bükülme veya zayıflık açısından incelenmelidir. Uçuş sırasında yapısal sorunları önlemek için kolların düzgün bir şekilde sabitlendiğini ve katlama veya açma mekanizmasının doğru çalıştığını kontrol etmek de önemlidir.

Pervanelerde, dronun dengesini etkileyebilecek çizikler, kırıklar veya deformasyonlar olup olmadığı kontrol edilmelidir. Aşırı oynama önlemek ve sorunsuz bir uçuş sağlamak için pervanelerin doğru takılıp takılmadığı (CW/CCW) kontrol edilmelidir.



Şekil 3.1. Dronun bileşenleri

Dron gövdesi çatlak, darbe veya yabancı cisim varlığı açısından incelenmelidir. Toz ve kir birikmesini önlemek için kapakların düzgün bir şekilde kapatıldığından ve havalandırma açıklıklarının temiz olduğundan emin olmak çok önemlidir.

İşlevsel ve güvenli bir güç kaynağı için, her uçuştan önce **pil** kontrol edilmelidir. Orta uzunlukta bir uçuş için pil şarj seviyesinin en az %70, uzun süreli bir uçuş için ise %100 olması önerilir. Riskleri önlemek için aşırı ısınmış veya şişmiş piller kullanılmamalıdır. Pilin güvenli bir şekilde takılması, kilitleme mekanizması ve konektörlerin temizliği doğrulanması gereken önemli hususlardır. Navigasyonun **kararlılığı ve doğruluğu**, sensörlerin ve GPS sisteminin düzgün çalışmasına bağlıdır. Optik ve ultrasonik sensörler toz veya kirden arındırılmalı ve engel algılama için test edilmesi önerilir.

GPS sistemi, en az **6-8 uydu bulunan** açık bir alanda bağlantı kurulmalıdır. GPS düzgün bir şekilde bağlanmazsa, pusulanın yeniden kalibre edilmesi gerekebilir.

Kullanmadan önce, uzaktan kumanda **kontrol edilerek** sinyal iletiminin **istikrarlı** ve bağlantının düzgün **olduğu doğrulanmalıdır**. Dron, 1-2 metre yükseklikte eğilme, dönme, yana doğru hareket ve hızlanma açısından test edilerek hızlı ve doğru tepki verdiği doğrulanmalıdır. "Eve Dön (Return-to-Home / RTH)" ve havada asılı kalma modu gibi otomatik işlevler, verimli çalışmayı sağlamak için güvenli koşullarda test edilmelidir.

3.2. UÇUŞ SONRASI KONTROL LİSTELERİ

Dronun düzgün çalışmasını ve dayanıklılığını sağlamak için düzenli kontroller ve dikkatli bakım yapmak önemlidir. Bu süreç, cihazın fiziksel olarak incelenmesini, olayların kaydedilmesini, uygun temizlik yapılmasını ve uçuş verilerinin değerlendirilmesini içerir.



Şekil 3.2. Bileşen elemanlarının görsel muayenesi.

Olası hasarları tespit etmek için **ayrıntılı bir görsel inceleme** yapılması şarttır. Kollar, pervaneler ve gövdede aşınma veya hasar belirtileri olup olmadığını kontrol etmek tavsiye edilir (Şekil 3.2.). Aşırı ısınma veya şişmeden kaynaklanan sorunları önlemek için pil de incelenmelidir. Sensörler ve kamera, dronun performansını etkileyebilecek kir birikintilerini gidermek için periyodik olarak kontrol edilmeli ve temizlenmelidir.

Verimli ve güvenli çalışma için, uçuşlar sırasında meydana gelen sorunları izlemek gerekir. Çarpışmalar, sinyal kaybı veya diğer anormallikler fiziksel veya dijital bir uçuş günlüğüne kaydedilmelidir. Bu bilgiler, tekrarlayan sorunları belirlemeye yardımcı olur ve gelecekteki olayları önler.

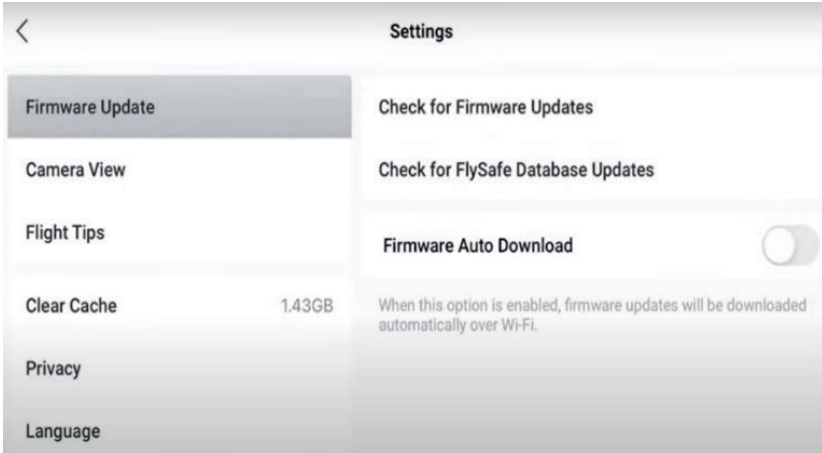
Dronun düzenli bakımı, yumuşak bir bez veya yumuşak bir fırça kullanılarak tozun temizlenmesini içerir. Görüntü netliğini korumak için kamera lensi mikrofiber bir bez ve özel bir temizlik solüsyonu ile temizlenmelidir. Ulaşılması zor alanlar, kirleri temizlemek için küçük, yumuşak bir fırça ile temizlenebilir.

Dronun rotasını, irtifasını ve hızını analiz etmek, performansı hakkında değerli bilgiler sağlar. Anormallikleri tespit etmek ve uçuş verilerini kaydetmek, cihaz kullanımını optimize etmeye ve hataları önlemeye yardımcı olur.

Dronu en iyi durumda tutmak için, incelemeler güvenli bir ortamda yapılmalıdır. Özel gereksinimler için cihazın kılavuzuna başvurmanız ve herhangi bir sorun tespit edildiğinde dronu kullanmaktan kaçınmanız önerilir.

3.3. FIRMWARE GÜNCELLEMESİ

Firmware güncellemeleri, dronun performansını, güvenliğini ve çalışma istikrarını korumak için önemli bir adımdır (Şekil 3.3.). Firmware, motorlardan ve sensörlerden GPS sistemine ve uzaktan kumanda bağlantılarına kadar tüm bileşenlerin çalışmasını kontrol eden dahili yazılımı ifade eder. Çalışma hatalarını veya güvenlik açıklarını önlemek için, dronun firmware'inin üretici tarafından sağlanan resmi yöntemler kullanılarak düzenli olarak güncellenmesi önerilir.



Şekil 3.3. Firmware Güncellemesi

Güncelleme sürecinin **ilk adımı**, yüklü firmware'in mevcut sürümünü kontrol etmektir. Bunun için dron, DJI Fly, Autel Explorer gibi üreticinin uygulamasına veya DJI Assistant 2 gibi özel yazılımlara bağlanmalıdır. Dron, uzaktan kumanda ve pillerin firmware sürüm bilgileri genellikle uygulamanın "Ayarlar" veya "Hakkında" bölümlerinde bulunur. Belirlenen sürüm, üreticinin resmi web

sitesinde bulunan en son sürümle karşılaştırılarak güncelleme gerekip gerekmediği belirlenmelidir.

Güncelleme gerekliliği belirlendikten sonra, bir sonraki adım dron modeli için ilgili firmware dosyasını indirmektir. İndirme işlemi yalnızca üreticinin resmi web sitesinden veya ilgili mobil uygulamadan yapılmalıdır. Yükleme sorunları veya uyumsuzlukları önlemek için indirilen dosyanın uyumluluğunu (ör. .bin veya .zip gibi dosya uzantıları) doğrulamak önemlidir.

Dronun donanım yazılımını güncellemek için, modele ve üreticiye bağlı olarak birkaç yöntem mevcuttur.

Mobil uygulama kullanılarak, dron Wi-Fi, Bluetooth veya USB kablosu ile bağlanarak güncelleme kolayca gerçekleştirilir. Uygulama, kullanıcıyı yeni sürümün mevcut olduğu konusunda bilgilendirir ve indirme ve yükleme sürecini otomatik olarak yönlendirir. Güncelleme sırasında, ilgili cihazların hiçbirinin bağlantısının kesilmemesi çok önemlidir.

Bilgisayar üzerinden yazılım güncellemeleri, dronu USB ile bir PC veya dizüstü bilgisayara bağlayarak ve üreticinin resmi yazılımını kullanarak yapılır. İşlem, yazılım dosyasını indirmeyi ve yazılımın talimatlarına göre güncellemeyi başlatmayı içerir. Bazı modellerde, yazılım dosyasını bir microSD karta yerleştirerek güncelleme seçeneği de vardır; bu yöntem, Flyability Elios 2 gibi endüstriyel veya özel dronlar için sıklıkla kullanılır. DroneCAN protokolüyle uyumlu dronlar için, kullanıcılar DroneCAN GUI veya Mission Planner gibi araçları kullanarak firmware güncellemeleri yapabilirler.

İşlemin sonunda dron otomatik olarak yeniden başlatılır ve kullanıcı, uygulamaya veya yazılıma tekrar erişerek doğru kurulumu doğrulamalıdır. Her güncellemeden sonra, ekipmanın düzgün çalıştığını doğrulamak için güvenli bir alanda test uçuşu yapılması önerilir.

Firmware güncellemeleri, iOS ve Android platformları için mevcut olan DJI Fly, Autel Explorer veya Parrot FreeFlight gibi mobil uygulamalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Mobil uygulamaları

kullanmanın avantajı, kullanıcı dostu arayüzleri ve güncellemelere hızlı erişim sağlamalarıdır, ancak bunlar için istikrarlı bir internet bağlantısı, en az %50 pil seviyesi ve cihazda yeterli depolama alanı gerekir.

Alternatif olarak, DJI Assistant 2 veya Mission Planner gibi masaüstü yazılımları, karmaşık güncellemeler için daha fazla kararlılık sağlayarak verimli bir yazılım dosyası yönetimi sunar. Bu yöntem, USB bağlantısı, internet erişimi ve uygulamanın bilgisayara önceden yüklenmiş olmasını gerektirir. Bazı modellerde, microSD kart güncellemeler için ek bir çözüm olarak kullanılabilir.

İşlemin kesintiye uğramasını veya hataların oluşmasını önlemek için, dronun, uzaktan kumandanın ve güncelleme için kullanılan cihazın pillerinin en az %50, tercihen %100 şarjlı olduğundan emin olunmalıdır. Pil ürün yazılımı ayrı güncellemeler gerektiriyorsa, bunlar dron kullanılmadan önce tamamlanmalıdır.

Dronun ayarlarını (özel uçuş modları, kalibrasyonlar) bir microSD karta, bilgisayara veya bulut depolama alanına yedeklemeniz önerilir. Güncelleme sırasında Wi-Fi parazitinden kaçınmak tercih edilir ve kullanılan USB bağlantıları uyumlu ve iyi durumda olmalıdır. Ayrıca, dronun pervanelerini çıkarmak ve bilgisayardaki antivirüs yazılımını geçici olarak devre dışı bırakmak, hata riskini en aza indirmeye yardımcı olabilir.

Güncellemeden sonra, dronun tüm temel işlevleri (uçuş, kamera, sensörler) test edilmelidir. Gerekirse, normal çalışmaya devam etmeden önce pusula, atalet ölçüm birimi (IMU) veya kamera gimbalının yeniden kalibrasyonu yapılmalıdır.

Sık veya profesyonel dron kullanımı için, aylık olarak yazılım güncellemelerini kontrol etmeniz önerilir. Ara sıra kullananlar için, genellikle üç ayda bir kontrol etmek yeterlidir. Önemli güncellemeler, özellikle güvenlik sorunlarını giderenler, kullanıma sunulur sunulmaz yüklenmelidir. Önemli bir görev veya özel bir uçuş öncesinde, ekipmanın tam bir testi yapılması önerilir. Ek güvenlik için, üreticinin izin verdiği durumlarda önceki yazılım sürümlerini saklamanız tavsiye edilir.

3.4. PİL BAKIMI

Bu bölüm, LiPo pillerin ömrünü uzatmak ve hasar veya yangın risklerini önlemek amacıyla doğru şarj, deşarj ve saklama için temel öneriler sunar.

- **LiPo pillerin performansını ve ömrünü en üst düzeye çıkarmak için**, şarj ve deşarj işlemi sırasında doğru uygulamaları takip etmek çok önemlidir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. LiPo pil

Pil hasarını önlemek için yalnızca DJI veya Autel gibi üretici tarafından onaylanmış şarj cihazlarının kullanılması önerilir. Şarj işlemi 1C akımla (örneğin, 5000 mAh pil için 5A) gerçekleştirilmeli ve hücre ömrünü kısaltabilecek sık hızlı şarjdan kaçınılmalıdır.

- **Şarj işlemi**, 15–25 °C arasındaki bir sıcaklıkta iyi havalandırılan bir ortamda **gerçekleştirilmeli** ve pil %100'e ulaştığında bağlantısı kesilmelidir.

- **Hücre hasarını önlemek için** pil %20–25'in altına boşaltılmamalıdır. Pil kritik bir seviyeye (10–15%) ulaşırsa, hemen iniş yapılması önerilir. Pil seviyeleri, her uçuştan sonra özel uygulama veya pil üzerindeki LED göstergeler aracılığıyla kontrol edilmelidir.

- Pil ömrünü optimize etmek için **%30-40 gibi kısmi deşarj döngüleri** tercih edilmelidir. Pil uzun süre kullanılmıyacaksa, birkaç haftada bir kontrollü bir döngü gerçekleştirilmelidir.

- **Arızaları ve yangın tehlikelerini önlemek için** piller her zaman LiPo yanmaz torbalar gibi yanmaz yüzeylerde şarj edilmelidir. Şarj sırasında pil sıcaklığı 45 °C'yi aşarsa, işlem derhal durdurulmalıdır. Uçuş sırasında, dronu aşırı sıcaklıklarda (<0 °C veya >40 °C) çalıştırmaktan kaçınılmalı ve zorlu uçuşlar arasında 10-15 dakikalık bir soğuma süresi önerilir.

- **Pil sağlığının uzun vadede** korunması için piller %50-60 şarj seviyesinde (hücre başına 3,8-3,85 V) saklanmalıdır. Tamamen şarj edilmiş veya tamamen boşalmış olarak saklanmamalıdır. Saklama ortamı kuru, 15-25°C sıcaklıkta, nem ve tozdan uzak olmalıdır. Pil seviyeleri 2-3 ayda bir kontrol edilmeli ve 6 ayda bir tam şarj-deşarj döngüsü yapılması önerilir.

- **Bir LiPo pil genellikle 200 ila 300 tam şarj döngüsüne dayanabilir** ve kısmi döngüler pil ömrünü 400-500 kullanıma kadar uzatabilir. Pil kapasitesi genellikle yaklaşık iki yıl sonra %20-30 oranında azalır. Aşınma belirtileri arasında uçuş süresinin kısalması, şişme, sızıntı ve aşırı ısınma sayılabilir. Pil sağlığı, DJI Fly'daki "Pil Sağlığı" özelliği gibi üreticinin uygulaması kullanılarak izlenebilir. Ciddi aşınma durumlarında, piller orijinal modellerle değiştirilmeli ve üçüncü taraf alternatiflerinden kaçınılmalıdır.

3.5. BAKIM TÜRLERİ

Dronun optimum şekilde çalışmasını sağlamak için uygun bir bakım stratejisi benimsemek çok önemlidir. Bu strateji düzeltici, önleyici veya öngörücü olabilir ve her birinin cihazın bakımında ve korunmasında kendine özgü bir rolü vardır.

- **Düzeltilici bakım**, bir arıza tespit edildikten sonra dronun onarılmasını içerir ve kırık pervaneler, arızalı motorlar veya yazılım hataları gibi sorunlara reaktif bir yaklaşımdır. Yaygın örnekler arasında hasarlı pervanelerin değiştirilmesi, anormal sesler çıkaran motorların onarılması, arızalı sensörlerin yeniden kalibre edilmesi veya değiştirilmesi, sert inişlerden sonra çerçevenin onarılması ve hataları gidermek için ürün yazılımının yeniden yüklenmesi sayılabilir. Prosedürler genellikle hata kodlarını tanımlamak için üreticinin uygulamasını kullanmayı, dron kılavuzuna başvurmayı,

karmaşık onarımlar için yetkili servis merkezine başvurmayı ve yalnızca orijinal parçalar kullanmayı içerir. Bu yaklaşımın temel avantajları, sorunların hızlı bir şekilde çözülmesidir; ancak, maliyeti daha yüksektir ve yeni arızaların meydana gelmesini engellemez.

- **Önleyici bakım**, düzenli denetimler yoluyla arızaların meydana gelmeden önlenmesine odaklanır. Bu tür planlı doğrulama, sık veya profesyonel kullanıcılar için çok önemlidir. Örnekler arasında pervanelerin aşınma kontrolü, sensörlerin ve kameraların temizlenmesi, kabloların korozyon kontrolü, pusula, IMU ve gimbal kalibrasyonu ve pil sağlığının izlenmesi sayılabilir. Önleyici bakım programı, günlük görsel denetimler (pervaneler, çerçeve, sensörler), haftalık ayrıntılı temizlik ve bağlantı kontrolleri, aylık sensör kalibrasyonları ve pil izleme ile üç aylık motor denetimleri ve ürün yazılımı güncellemelerinden oluşabilir. Bu yaklaşımın avantajları arasında arıza riskinin azalması ve dron ömrünün uzaması sayılabilir, ancak etkili bir şekilde uygulanması için zaman ve disiplin gerektirir.

- **Öngörücü bakım**, dron tarafından toplanan verileri analiz ederek arızaları önceden tahmin eden gelişmiş bir yöntemdir. Aşınmayı tespit etmek için uçuş kayıtlarına ve sensörlere dayanır ve profesyonel filolar veya kritik görevler için idealdir. Uygulama örnekleri arasında pil döngülerini ve sıcaklıklarını izleme, motor titreşimlerini analiz etme, uçuş kayıtlarında anormal modeller tespit etme ve belirli öneriler için yapay zeka kullanma sayılabilir. İlgili teknolojiler arasında AirData UAV, DJI FlightHub ve DroneLogbook gibi özel yazılımlar, gerçek zamanlı izleme için entegre sensörler ve filo yönetimi için bulut bilişim yer alır. Bu yöntem öncelikle profesyonel ortamlarda uygulanır ve bireysel kullanımda daha az kullanılır. Avantajları arasında maliyet optimizasyonu ve daha az arıza süresi bulunur, ancak uygulaması pahalı olabilir ve ileri düzey teknik bilgi gerektirir.

3.6. BAKIM PROGRAMLARI

Dronu optimum çalışma koşullarında tutmak için düzenli bir bakım programı uygulamak önemlidir. Bu bakım düzeltici, önleyici veya

öngörücü olabilir ve her bir inceleme türünün sıklığı, cihazın kullanımına ve belirli özelliklerine bağlıdır.

Tablo 3.1. Dron Bakım Sıklığı

Sıklık	Düzeltilici Bakım	Önleyici bakım	Öngörücü Bakım
Günlük	Özel uygulamalar kullanarak her uçuştan sonra hata kodlarını kontrol etmek. Hasarlı pervaneler veya gevşek vidalar gibi küçük arızaları gidermek.	Pervanelerin, çerçevenin ve sensörlerin görsel olarak incelenmesi. Pil seviyesinin kontrol edilmesi ve optik bileşenlerin hızlı bir şekilde temizlenmesi.	Uçuş günlüklerini izleyerek acil hataları tespit etmek. Özel uygulamalar kullanarak pil sağlığını değerlendirmek.
Haftalık	Motorlar ve sensörler dahil olmak üzere hasarlı bileşenlerin onarılması veya değiştirilmesi. Tekrarlayan hatalar durumunda donanım yazılımının yeniden yüklenmesi.	Dronun kapsamlı temizliği, bağlantıların aşınma kontrolü, uçuş ve kamera çalışması gibi temel işlevlerin test edilmesi.	Motor titreşimleri gibi anormal durumları tespit etmek için uçuş kayıtlarının analiz edilmesi. Pil şarj döngülerinin izlenmesi.
Aylık	Yetkili servis merkezinde ana kart gibi önemli bileşenlerin onarımı. Firmware sorunları meydana geldiğinde yedeklemeden ayarların geri yüklenmesi.	Pusula, IMU ve gimbal'ın kalibre edilmesi. Pil sağlığının kontrol edilmesi ve olası arızaların giderilmesi. Firmware'in güncellenmesi.	Uçuş verilerini analiz ederek bileşen aşınmasını tespit etmek. Optimum bakım planlaması için öngörü raporları oluşturmak.
Yıllık	Motorlar veya piller gibi kritik bileşenlerin değiştirilmesi. Yetkili servis merkezinde tam bir revizyonun yapılması.	İç bileşenlerin ayrıntılı incelenmesi. Aşınmış pervanelerin önleyici olarak değiştirilmesi ve mevcut yönetmeliklere uygunluğun doğrulanması.	Geçmiş verileri analiz ederek uzun vadeli performansı değerlendirme. 200-300 kullanım döngüsünden sonra piller gibi bileşenlerin değiştirilmesini planlama.

Önemli Hususlar

- **Düzeltilici bakım**, yalnızca arızalar meydana geldiğinde gerçekleştirilir ve sıklığı karşılaşılan olaylara bağlıdır.
- **Önleyici bakım** tüm dronlar için gereklidir ve düzenli bir programa göre gerçekleştirilmelidir.
- **Öngörücü bakım**, profesyonel filolar için idealdir ve gelişmiş yazılım araçları kullanılarak uygulanır.
- **Sıklık**, üreticinin spesifikasyonlarına ve dronun kullanım amacına (eğlence veya endüstriyel amaçlar) göre ayarlanmalıdır.

3.7. TEMİZLİK VE KORUMA PROSEDÜRLERİ

3.7.1. Dronun Uygun Temizliği ve Korunması

Dronu en iyi durumda tutmak için, uygun malzemeler kullanarak ve hassas bileşenler için önlemleri alarak doğru temizlik yapmak çok önemlidir.

Dış yüzeyler, lensler ve sensörler için, tüy bırakmayan ve aşındırıcı olmayan mikrofiber bezlerin kullanılması önerilir. Etkili ürünlere örnek olarak Amazon Basics ve 3M Microfiber verilebilir. Isopropil alkol (%70-90) veya özel lens temizleme ürünleri (ör. Zeiss) gibi aşındırıcı olmayan çözeltiler, hasarı önlemek için doğrudan dron üzerine değil, beze uygulanmalıdır. 10-15 cm mesafeden kullanılan basınçlı hava, havalandırma deliklerinden ve motorlardan tozu gidermeye yardımcı olur. Antistatik LensPen fırçaları gibi yumuşak fırçalar, sensörleri ve motorları temizlemek için idealdir. H₂O Nano Coating gibi koruyucu spreyleyler, sensörler ve lenslerle temastan kaçınarak dış yüzeylere uygulanabilir.



Şekil 3.5. Sensörlerin temizlenmesi

Optik, ultrasonik ve LiDAR sensörlerin temizliği, iç bileşenlere nüfuz edebilecek aşırı basınç ve sıvılardan kaçınarak kuru mikrofiber bez veya izopropil alkol ile yapılmalıdır. Motorlar, mekanik aşınmayı önlemek için manuel olarak döndürülmeden sıkıştırılmış hava ve yumuşak fırçalarla temizlenmelidir. Kamera ve gimbal lensleri özel dikkat gerektirir; mikrofiber bezler ve lens temizleme solüsyonları ile temizlenmeli ve gimbal manuel olarak hareket ettirilmemelidir. Bağlantı noktaları ve bağlantılar, sıvıların kesinlikle kullanılmaması kaydıyla, basınçlı hava veya ince fırçalarla tozları alınmalıdır.

Dron hasarını önlemek için, DJI Matrice 30 gibi suya dayanıklı modeller hariç, korozyona ve kısa devrelere neden olabilecek suyla temastan kaçınmak çok önemlidir. Deterjan, aseton, amonyak ve klor gibi aşındırıcı maddeler kullanılmamalıdır. Basınçlı su jetleri ve elektrikli süpürgeler kırılğan bileşenleri yerinden çıkarabilir ve sıvıların aşırı kullanımı sensörlerin ve elektronik kartların işlevselliğini bozabilir. Dron temizliği her zaman cihazın gücü kapalı ve pil çıkarılmış halde yapılmalıdır.

3.7.2. Dron Temizliği, Kullanım Koşullarına Göre Uyarlanabilir:

- **Sahada:** Mikrofiber bezler, yumuşak fırçalar, basınçlı hava ve izopropil alkol gibi taşınabilir araçlar kullanılarak uçuş sonrası hızlı temizlik için tasarlanmıştır. Prosedürler arasında dronu kapatmak, pili çıkarmak, pervaneleri sökmek, motorlar ve sensörler için basınçlı hava kullanmak, lensleri ve sensörleri mikrofiber ile temizlemek ve çerçevenin genel bir incelemesini yapmak yer alır. Önlemler arasında rüzgara ve toza maruz kalmaktan kaçınmak, sıvı kullanımını en aza indirmek ve dronu koruyucu bir taşıma çantasında saklamak yer alır.

- **Atölyede:** Ayrıntılı temizlik, uzun süreli koruma sağlar. Araçlar arasında mikrofiber bezler, %90 izopropil alkol, daha yüksek güçlü basınçlı hava, antistatik fırçalar ve koruyucu spreylere bulunur. Prosedürler arasında pili çıkarmak, pervaneleri sökmek, çerçeveyi sökmek (üretici izin veriyorsa), motorları, havalandırma deliklerini ve bağlantı noktalarını temizlemek, dış yüzeylere koruyucu spreylere uygulamak, dronu yeniden monte etmek ve işlevselliği test etmek yer

alır. Önlemler arasında temiz bir çalışma ortamı kullanmak, yetkisiz sökme işlemlerinden kaçınmak ve antistatik aletler kullanmak yer alır.

3.8. BİLEŞEN ÖMRÜ BEKLENTİLERİ

3.8.1. Bileşen Ömrü ve Değiştirme Kriterleri

Dronun uzun vadeli işlevselliğini sağlamak için, bakımı planlamak ve aşınmış bileşenleri değiştirmek için en uygun zamanı belirlemek çok önemlidir. Bu parçaların ömrü, kullanıma, uçuş koşullarına ve düzenli bakıma bağlıdır.

Tablo 3.2. Tahmini Ömür

Bileşen	Tahmini Ömür	Değiştirme Kriterleri
Pervaneler	100–200 uçuş saati / 6–12 ay	Çatlak, kırık, anormal titreşim veya uçuş stabilitesinde kayıp olması.
Piller (LiPo)	200–300 döngü / 1–3 yıl	Kapasitenin %70'in altında olması, şişme, sızıntı veya uygulama tarafından bildirilen hatalar.
Motorlar	500–1000 uçuş saati / 2–5 yıl	Anormal sesler, titreşimler, aşırı ısınma veya aşınmış yataklar.
ESC'ler (Elektronik Hız Kontrol Cihazları)	1000–2000 uçuş saati / 3–7 yıl	Motor arızaları, aşırı ısınma veya sürekli yazılım hataları.
Kontrolörler	3–5 yıl / Fiziksel aşınma	Zayıf pil, yanıt vermeyen düğmeler veya joystickler, sık sık bağlantı kesilmeleri.

3.8.2. Bileşenlerin Ömrünü Etkileyen Faktörler:

- **Pervaneler:** Malzeme (plastik mi yoksa karbon fiber mi), toza maruz kalma, darbeler veya zorlu koşullar ömrü etkiler.
- **Piller:** Sık tam şarj döngüleri ve uygun olmayan saklama koşulları pil ömrünü önemli ölçüde azaltabilir.
- **Motorlar:** Fırçasız motorlar daha dayanıklıdır, ancak aşırı koşullarda çalıştırmak aşınmayı artırır.

- **ESC'ler:** Gerilim dalgalanmaları ve yüksek sıcaklıklar bozulmayı hızlandırır ve arızalar birden fazla motoru aynı anda etkileyebilir.

- **Denetleyiciler:** Fiziksel aşınma ve ürün yazılımı güncellemeleriyle uyumsuzluk performansı etkileyebilir.

Arızaları önlemek ve optimum dron performansını korumak için aşağıdaki kriterlere uyulmalıdır:

- **Görsel ve İşlevsel Kontrol:** Her uçuştan önce pervanelerde çatlak olup olmadığı kontrol edilmeli, pillerde şişme veya sızıntı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Motorlar ve ESC'ler olağandışı sesler ve aşırı ısınma açısından izlenmeli, kontrol cihazları joystick tepkisi ve istikrarlı bağlantı açısından test edilmelidir.

- **Performans Düşüşü:** Uçuş süresi %70'in altına düşerse, stabilite bozulursa veya dron kontrolü hassaslığını yitirirse, bileşenlerin değiştirilmesi önerilir.

- **Yazılım Raporları:** Özel uygulamalar (ör. AirData UAV) pil aşınmasını, motor bozulmasını veya diğer kritik hataları gösterebilir.

- **Fiziksel Aşınma:** Pervanelerde kırılma veya pillerde şişme gibi gözle görülür hasarlar varsa, derhal değiştirilmelidir.

- **Üreticinin Önerileri:** Kılavuzda belirtilen aralıkları (örneğin, pervaneleri her 200 uçuş saatinde bir değiştirmek) takip edin ve daima orijinal parçalar kullanın.

- **Özel Koşullar:** Yoğun olarak veya zorlu ortamlarda (toz, nem) kullanılan dronlar, bakım programına göre daha sık inceleme ve ayarlamalar gerektirir.

3.9. ÇEVRESEL FAKTÖRLER (TOZ, NEM VB. ORTAMLARDA ÇALIŞMA)

3.9.1. Zorlu Ortamlarda Dron Kullanımı

Bir dronun performansını ve dayanıklılığını sağlamak için, tozlu, nemli veya aşırı sıcaklık ortamlarında çalışırken belirli önlemler alınmalıdır.

Bileşenleri toz birikiminden korumak için, DJI Mavic 3 Enterprise için mevcut olanlar gibi hava giriş filtrelerinin kullanılması önerilir. Bu filtreler, hava akışının engellenmesini önlemek için her görevden sonra temizlenmeli veya değiştirilmelidir. Ek olarak, PGYTECH Pervane Koruyucuları gibi pervaneler ve sensörler için koruyucu kapakların takılması, toza maruz kalmayı azaltmaya yardımcı olabilir. Ancak, uçuş performansını optimize etmek için bunlar normal operasyonlar sırasında çıkarılmalıdır. Her uçuştan sonra motorlar, sensörler ve hava delikleri basınçlı hava veya yumuşak bir fırça ile temizlenmeli, pervaneler ve sensörler ise toz birikintileri açısından kontrol edilmelidir. Kum fırtınası sırasında uçmaktan kesinlikle kaçınılmalı ve dronun IP derecesi (örneğin, DJI Matrice 30 için IP54) kontrol edilerek toz parçacıklarına karşı koruma seviyesi belirlenmelidir.

Korozyon ve kısa devreleri önlemek için dronlar uygun şekilde sızdırmaz hale getirilmelidir. DJI Mavic 3 Enterprise'da IP43 derecesine sahip olanlar gibi contaları ve bağlantı noktalarını kontrol etmek, iç korumaya katkıda bulunur. H₂O Nano Coating gibi hidrofobik bir sprey uygulamak ek koruma sağlayabilir, ancak sensörlerden ve lenslerden uzak tutulmalıdır. IP derecesi olmayan dronlar yağmur ve sisten uzak tutulmalıdır. Uçuş sonrası cihaz iyice kurutulmalıdır: pili çıkarın, dronu mikrofiber bir bezle silin ve havalandırılan bir alanda 2-4 saat kurumaya bırakın. İç nemi emmek için 12-24 saat boyunca silika jel veya pirinç kullanılabilir. Dronları kurutmak için saç kurutma makinesi gibi ısı kaynakları kullanılmamalıdır. Islak bir dronu çalıştırmaktan kaçınılmalı ve derin su üzerinde uçuşlar sadece SwellPro SplashDrone gibi su geçirmez modellerle yapılmalıdır. Dronu su geçirmez bir taşıma çantasında saklamak, nakliye ve depolama sırasında nemden korunmasına yardımcı olur.

Dronlar, optimum performansı korumak için hem aşırı düşük hem de yüksek sıcaklıklardan korunmalıdır. Soğuk koşullarda (0°C'nin altında), piller kullanılmadan önce sıcak tutulmalıdır. Ön ısıtma fonksiyonları (varsa) ve yalıtımlı kılıflar önerilir. Sıcak ortamlarda (40°C'nin üzerinde), doğrudan güneş ışığına uzun süre maruz kalmaktan kaçınılmalıdır. Yoğun uçuşlar arasında 10-15

dakikalık soğutma molaları gereklidir ve yansıtıcı kapaklar optimum çalışma sıcaklıklarının korunmasına yardımcı olabilir. Ortam sıcaklığından bağımsız olarak, dron çalıştırılmadan önce 10-15 dakika boyunca ortama alıştırılmalı ve piller 15-25°C arasındaki sıcaklıklarda saklanmalıdır. Dronun belirtilen sıcaklık çalışma sınırlarına uymak için üreticinin kılavuzuna başvurmak çok önemlidir.

3.9.2. Depolama ve Nakliye

Nakliye ve depolama sırasında hasarı önlemek için uygun koruyucu ekipman kullanmak ve güvenlik kurallarına uymak çok önemlidir.

DJI Mavic 3 Taşıma Çantası veya IP67 sınıfı Pelican modelleri gibi **sert çantalar**, darbe, toz ve suya karşı koruma sağlar. Bu çantalar, bileşenleri güvenli bir şekilde tutmak için özel köpük ekler ile donatılmalı ve piller yanmaz bölmelerde ayrı olarak saklanmalıdır. Kısa yolculuklar için DJI Omuz Çantası veya Lowepro DroneGuard gibi yumuşak çantalar hafif ve taşınabilir bir seçenek sunar. Bu çantalar ekstra koruma için uygun şekilde yastıklanmalı ve aşırı yükleme yapılmamalıdır. Güvenli taşıma için pervaneler ayrı olarak saklanmalı, bileşenler sıkıca sabitlenmeli ve seyahate çıkmadan önce LiPo pillerle ilgili havayolu düzenlemeleri kontrol edilmelidir.

Dron bileşenlerinin **sağlığını korumak için** uygun saklama koşulları gereklidir. Optimum sıcaklık 15-25 °C arasında olmalı ve <0 °C veya >40 °C gibi aşırı sıcaklıklardan kaçınılmalıdır. Nem oranı %60'ın altında tutulmalı ve silika jel veya nem alıcılar kullanılarak nem birikiminin önlenmesi sağlanmalıdır. Dronlar, UVB radyasyona maruz kalmamaları için doğrudan güneş ışığından uzak, temiz ve iyi havalandırılan bir alanda saklanmalıdır. Piller %50-60 şarjda saklanmalı ve 2-3 ayda bir kontrol edilmelidir. Maksimum güvenlik için yanmaz pil kutuları kullanılması önerilir ve saklama dolapları kuru tutulmalıdır. Dronu bodrum gibi nemli alanlarda saklamaktan kaçının ve üzerine ağır nesneler koymayın.

Katlanabilir kolları korumak için, kelepçelerle düzgün bir şekilde sabitlenmeli ve kontrolsüz hareketleri önlemek için kutulardaki köpük destekler kullanılmalıdır. Katlama mekanizmalarına zorla baskı uygulamamak önemlidir. Gimbal, DJI

Gimbal Lock gibi özel cihazlar kullanılarak kilitlenmeli ve köpük veya agresif olmayan yapışkan bantlar kullanılarak ek koruma sağlanabilir. Gimbal kilitlenmeden önce dronların gücü kapatılmalıdır. Pervaneler, deformasyonu ve kazara çalışmayı önlemek için çıkarılmalı ve ayrı olarak saklanmalıdır.

LiPo pil düzenlemelerine uymak için, IATA yönergelerine uygun olarak %30'dan fazla şarj edilmeden taşınmalıdır. Hava yolculuğu için piller el bagajında taşınmalı ve izin verilen enerji sınırı doğrulanmalıdır (ör. <100 Wh). "Lityum Pil" ve "Kırılabilir" gibi uygun etiketler yapıştırılmalı ve uygunluk beyanı eklenmelidir. Genel düzenlemeler, dronlar için gümrük kısıtlamalarının kontrol edilmesini, iletişim bilgileri etiketlerinin eklenmesini ve karayolu veya demiryolu taşımacılığı için sert kılıfların kullanılmasını gerektirir. Seyahate çıkmadan önce, taşıma sorunlarını önlemek için IATA düzenlemelerine ve havayolu şirketlerinin politikalarına başvurmak önemlidir. Maksimum güvenlik için hasarlı piller taşınmamalıdır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ONARIM VE PARÇA DEĞİŞTİRME PROSEDÜRLERİ

Yazarlar

Cumali Yaşar¹

Cafer Türkmen²

Tülay Dargut Güler³

Can Aktaş⁴

Levent Özçağ⁵

¹Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, e-mail: cyasar@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0065-3752>

²Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, e-mail: turkmen@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0707-5908>

³Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, e-mail: tdargut@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1567-6647>

⁴Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, e-mail: canaktas@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0603-7862>

⁵Öğr. Gör., Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye, e-mail: leventozcag@comu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1471-8051>

ONARIM VE PARÇA DEĞİŞTİRME PROSEDÜRLERİ



4.1. GİRİŞ VE BÖLÜMÜN AMACI

Bu bölüm, insansız hava araçlarının (İHA) bakım, onarım ve parça değişim süreçlerine yönelik uygulamalı bir kılavuz sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Özellikle İHA teknisyeni olarak yetiştirilen bireylerin, sistematik ve güvenli müdahaleler yapabilmeleri için gerekli olan teknik bilgi, yöntem ve pratik uygulamalar detaylı bir şekilde aktarılacaktır. Kitap, Erasmus+ UAVET projesi kapsamında geliştirilen modüler eğitim sisteminin bir parçası olarak hem öğretmen hem öğrenci seviyesinde kullanılabilir niteliktedir.

4.2. ÖĞRENME KAZANIMLARI



ÖĞRENME KAZANIMLARI

BİLGİ DÜZEYİNDE:

- İHA sistemlerindeki temel elektronik ve mekanik parçaları tanıır.
- Her bir parçanın işlevini, arızalanma nedenlerini ve bakım gereksinimlerini açıklar.
- Onarım ve parça değişim işlemlerinde kullanılan araç-gereçleri bilir.

BECERİ DÜZEYİNDE:

- Arızalı parçayı doğru teşhis eder ve güvenli bir şekilde söküp yenisiyle değiştirir.
- Lehimleme, bağlantı, montaj ve kalibrasyon işlemlerini doğru tekniklerle uygular.

YETKİNLİK DÜZEYİNDE:

- İHA bakım süreçlerinde iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uygun hareket eder.
- Gerektiğinde bakım/onarım kararlarını verirken teknik değerlendirme yapar.

Bu bölümü başarıyla tamamlayan bir öğrenci aşağıdaki kazanımları elde edecektir:

Bilgi Düzeyinde:

- İHA sistemlerindeki temel elektronik ve mekanik parçaları tanıır.
- Her bir parçanın işlevini, arızalanma nedenlerini ve bakım gereksinimlerini açıklar.
- Onarım ve parça değişim işlemlerinde kullanılan araç-gereçleri bilir.

Beceri Düzeyinde:

- Arızalı parçayı doğru teşhis eder ve güvenli bir şekilde söküp yenisiyle değiştirir.
- Lehimleme, bağlantı, montaj ve kalibrasyon işlemlerini doğru tekniklerle uygular.
- Uçuş öncesi sistem testlerini (ESC kalibrasyonu, motor yönü, GPS sinyali) gerçekleştirir.

Yetkinlik Düzeyinde:

- İHA bakım süreçlerinde iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uygun hareket eder.
- Gerekğinde bakım/onarım kararlarını verirken teknik değerlendirme yapar.
- Takım çalışmasına uygun, disiplinli ve dikkatli bir bakım süreci yürütür.

Dron Parçası Değişimi İçin Gerekli Malzemeler (Açıklamalı Liste)



1. Temel El Aletleri

Malzeme	Açıklama
Tornavida Seti (Mini)	Uçuş kontrolcüsü, ESC, kamera gibi küçük parçaların vidalarını sökmek için kullanılır. Çoğunlukla Philips (yıldız), düz ve Allen (altıgen) uçlar gerekir.
Cımbız (Antistatik)	Küçük kabloları ve konnektörleri hassas şekilde yerleştirmek için kullanılır. Özellikle lehim sonrası kablo konumlandırma etkilidir.
Pense ve Kargaburun	Sıkışmış kabloları çekmek veya küçük parçaları tutmak için kullanılır.
Tel Soyucu ve Yan Keski	Kablo uçlarını açmak ve fazla uzunlukları kesmek için gereklidir. Lehim öncesi mutlaka kablo ucu açılır.
Makas (Elektrikçi Tipi)	İzole bant, termal kılıf veya plastik bağlantı elemanlarını kesmek için.

2. Elektronik Müdahale Araçları

Malzeme	Açıklama
Lehimleme İstasyonu	Isı ayarlı bir havya cihazı; lehimleme işlemlerinde kablo ve komponentlerin doğru şekilde bağlanmasını sağlar.
Lehim Teli ve Pasta	Elektriksel bağlantıları sağlamak için iletken lehim kullanılır. Lehim pastası, ısı iletimi ve bağlantı kalitesi için önemlidir.
Multimetre	Voltaj ölçümü, kısa devre testi ve kablo sürekliliğini kontrol etmek için. ESC ve PDB testlerinde özellikle kullanılır.
Isı Tabancası (Hot Air Gun)	Isıyla büzüşen makaronlar ve hassas parça sökümü için. Lehimli BGA parçaların çıkarılması gibi durumlarda kullanılır.

3. Montaj ve Sabitleme Malzemeleri

Malzeme	Açıklama
Vida ve Yedek Vidalar (M2, M3)	Parça sabitlemede kullanılan farklı boyutlardaki metal veya plastik vidalar.
Titreşim Önleyici Pad (Damping Pad)	Uçuş kontrolcüsünün altına yerleştirilerek titreşimi engeller ve sensör verimliliğini artırır.
Kablo Bağları (Zip Tie)	Kabloların sabitlenmesi ve montaj sonrası düzenli görünüm için kullanılır.
Isıya Duyarlı Makaron (Heat Shrink Tube)	Lehimlenen uçları izole etmek ve korumak için. Isı verildiğinde büzülerek kabloya yapışır.

4. Test ve Kalibrasyon Cihazları

Malzeme	Açıklama
ESC Programlayıcı / BLHeli Tool	ESC yazılımının güncellenmesi ve kalibrasyon ayarlarının yapılması için.
IMU ve Compass Kalibrasyon Yazılımı	Betaflight, iNav, Mission Planner gibi yazılımlar üzerinden kalibrasyon işlemleri yapılır.
Servo Test Cihazı (opsiyonel)	ESC veya motor tepkisinin manuel test edilmesi için kullanılır. Eğitim amaçlıdır.

5. Güvenlik ve Koruma Ekipmanları

Malzeme	Açıklama
ESD Bileklik ve Mat	Elektronik bileşenlerin statik elektrikten zarar görmesini önlemek için.
Nitril veya Lateks Eldiven	Hassas müdahalelerde el koruması sağlar, yağ geçirmez.
Koruyucu Gözlük	Lehim sırasında sıçrama ve kıvılcım riskine karşı.
LiPo Güvenlik Çantası	Bataryaların güvenli şekilde saklanması ve taşınması için kullanılır.
Yangın Söndürücü (Küçük CO ₂ Tipi)	Batarya yangınlarına müdahale için çalışma ortamında bulundurulmalıdır.

6. Çalışma Masası ve Ortam Düzeni

Özellik	Açıklama
Aydınlatma	Tüm alanın net görülebileceği güçlü, gölgesiz masa lambaları önerilir.
Antistatik Masa Örtüsü	Elektronik montaj yüzeyleri için standarttır.
Parça Kutuları ve Etiketler	Her parçanın düzenli tutulması ve karıştırılmaması için.
Yedek Parça Stok Listesi	ESC, FC, motor, pervane gibi parçalardan yedek bulundurmak işinizi kolaylaştırır.

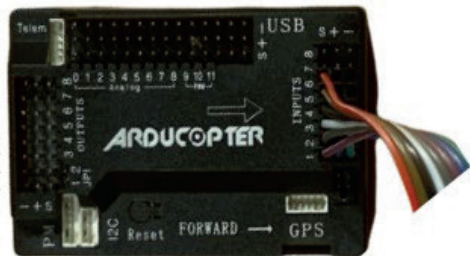
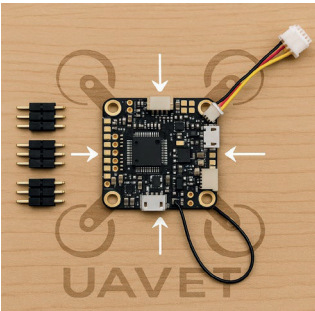
4.3. DRON PARÇALARININ TANITIMI, DEĞİŞİMİ VE ARIZA TİPLERİ



Bu bölüm, bir dronun çalışmasını sağlayan temel parçaların her birini detaylı biçimde tanıtarak, bu parçaların nasıl arızalanabileceğini ve gerektiğinde nasıl değiştirileceğini adım adım açıklamayı amaçlamaktadır. Okuyucunun teknik bilgisi olmasa bile, görseller, yön gösteren oklar ve uygulamalı anlatımlarla parçaların işlevi, doğru sökülmesi ve yeniden monte edilmesi süreci sade bir dille aktarılacaktır. Her bir alt başlıkta; parçanın görevine, karşılaşılan yaygın arıza tiplerine, güvenli sökme-takma yöntemlerine ve bakım ipuçlarına yer verilecektir.

Bölüm sonunda kullanıcı, bir İHA'yı oluşturan parçaların tamamını tanıyabilecek, arızalı parçaları tespit edebilecek ve temel müdahaleleri yapabilecek bilgi ve beceriye sahip olacaktır.

4.3.1. Uçuş Kontrolcüsü (Flight Controller)



Tanımı:

Uçuş kontrolcüsü (Flight Controller), bir dronun merkezi işlem birimi ve kontrol sistemidir. Üzerine entegre edilmiş inertial measurement unit (IMU), jiroskop, ivmeölçer, barometre, manyetometre gibi sensörlerden gelen ham verileri toplayarak gerçek zamanlı olarak işler. Ayrıca motor sürücüler (ESC), GPS modülü ve diğer çevresel bileşenlerle iletişim kurar. Bu sayede dronun konumu, hızı, yönü ve ivmesi gibi uçuş dinamiklerini sürekli olarak hesaplar ve analiz eder. Pilotun veya otonom sistemlerin verdiği komutları yorumlayarak motorlara ve diğer aktüatörlere kontrollü komutlar gönderir, böylece dronun stabil, dengeli ve güvenli uçuşunu sağlar.

Ne İşe Yarar?

- Dronun yatay ve dikey düzlemde stabil ve dengeli uçuşunu sürdürür.
- Rüzgâr, hava akımları ve diğer dışsal etkilerden kaynaklanan sapmaları anlık olarak algılar ve düzeltici kontrol sinyalleri üretir.
- Pervanelerin hızını ve yönünü değiştirerek dronun yönlendirilmesini ve manevra kabiliyetini sağlar.
- Otonom uçuş modlarını yönetir; GPS destekli rota takibi, waypoint navigasyonu, konum sabitleme (Position Hold) ve geri dönüş (Return to Home) gibi fonksiyonları yürütür.
- Gerçek zamanlı telemetri verileri sağlar ve uçuş parametrelerini yer kontrol istasyonuna ileterek operasyonel kontrol ve izleme imkânı sunar.

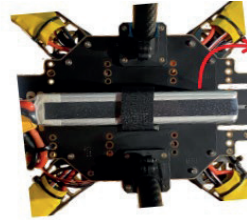
Arıza Belirtileri:

- Dron kalkış anında veya uçuş sırasında dengesiz davranarak takla atabilir veya kontrol kaybı yaşayabilir.
- Uçuş boyunca stabilite sorunları, titreşimler veya ani sapmalar gözlemlenebilir.
- Pilot komutlarına gecikmeli, eksik ya da hiç yanıt verilmemesi; uçuş kontrolcüsünün işlem veya iletişim sorununa işaret eder.

- Uçuş kontrolcüsü üzerindeki LED göstergelerinde belirli hata kodları yanıp sönerek arıza teşhisine olanak sağlar.
- Sensör kalibrasyon hataları veya iletişim kesintileri sonucu uçuş modları düzgün çalışmayabilir.

Değişim ve Montaj Adımları:

Adım 1: Dronun tüm güç kaynaklarını kesin. Özellikle bataryayı çıkararak sistemin tamamen enerjisiz olduğundan emin olun. Bu işlem, elektriksel kısa devre riskini ve bileşen hasarını önlemek için kritik öneme sahiptir.



Adım 2: Uçuş kontrolcüsünün (FC) fiziksel konumunu belirleyin. Genellikle dron gövdesinin merkezinde, titreşim izolasyonu sağlanmış bir alanda bulunur. Üzerinde birçok kablo bağlantısı ve entegre sensör (IMU, barometre, pusula) yer alır.

Adım 3: Uçuş kontrolcüsüne bağlı tüm kabloları (ESC sinyal kabloları, GPS anten kablosu, alıcı bağlantıları, sensör veri hatları vb.) dikkatlice sökün. Kabloların yanlış bağlanmasını önlemek için her bağlantının yerini mutlaka etiketleyin veya yüksek çözünürlüklü fotoğraflarını çekerek kayıt altına alın.

Adım 4: Uçuş kontrolcüsünü sabitleyen vidalar veya montaj aparatlarını sökün. Montaj sırasında kullanılan anti-vibrasyon pedleri veya silikon izolasyon bantlarını koruyun veya gerektiğinde yenileriyle değiştirin.

Adım 5: Yeni uçuş kontrolcüsünü orijinal konumuna ve yönüne göre dikkatlice yerleştirin. Çoğu uçuş kontrolcüsünde ön yönü gösteren ok işareti bulunur; bu işaretin dron önüne paralel olmasına özen gösterin.

Adım 6: Tüm bağlantı kablolarını, etiket ve fotoğraflara uygun şekilde, doğru portlara kesin ve sağlam şekilde takın. Kablo uçlarının sağlamlığı ve lehim bağlantılarının temizliği uçuş güvenliği için kritiktir.

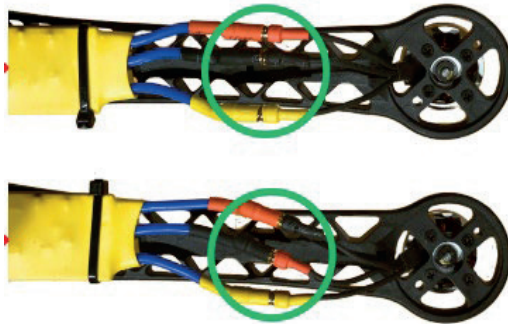
Adım 7: Uçuş kontrolcüsünü kalibre edin. Bu işlem, hem manuel kumanda ile hem de Betaflight, Mission Planner, iNav gibi yazılımlar kullanılarak yapılabilir.

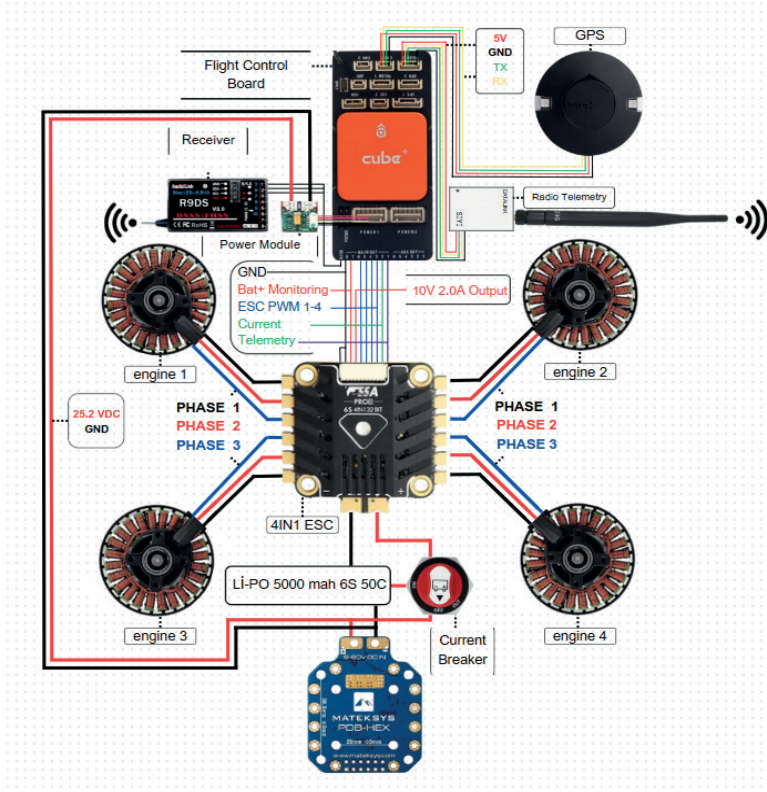
- **IMU kalibrasyonu:** Dron sabit ve yatay bir zeminde olmalıdır.
- **Compass kalibrasyonu:** Dron, manyetik alan etkilerinden uzak açık alanda 360° eksen çevrilerek gerçekleştirilmelidir.
- **Accelerometer kalibrasyonu:** Dronun ivme ölçer sensörlerinin doğruluğunu sağlar.
- **Heading ayarı:** Pusula ve GPS uyumu için doğru yönlendirme yapılmalıdır.

Adım 8: Kalibrasyon ve bağlantı sonrası test uçuşu yapın. İlk uçuşu düşük hızda ve alçak irtifada gerçekleştirin.

- Dronun yavaş kalkışı, stabil pozisyon tutuşu ve yönlendirme kontrollerini test edin.
- Herhangi bir anormallik, titreşim veya kontrolsüz hareket tespit edilirse yeniden kalibrasyon ve bağlantı kontrolü yapın.

4.3.2. ESC (Elektronik Hız Kontrol Ünitesi)





Tanımı: ESC (Elektronik Hız Kontrol Ünitesi), dron motorlarına gönderilen elektrik akımı ve sinyali hassas şekilde kontrol eden elektronik devredir. Pilotun kumandadan veya uçuş kontrolcüsünden aldığı hız ve yön komutlarını motorların ihtiyaç duyduğu elektriksel sinyale dönüştürür. Bu sayede her bir motorun devri ve dönüş yönü bağımsız olarak kontrol edilir. ESC'ler genellikle üç fazlı fırçasız (brushless) motorlarla uyumludur ve motor performansının stabil olmasını sağlar.

Ne İşe Yarar?

- Motorların istenilen hızda ve yönde dönmesini sağlar.
- Uçuşta denge ve yön kontrolü için gerekli hız değişikliklerini anlık uygular.

- Genellikle her motor için bir ESC kullanılır; bazı sistemlerde dört motoru kontrol eden birleşik ESC kartları (4-in-1 ESC) bulunabilir.

- Motorların aşırı akım, aşırı ısınma gibi durumlara karşı korumasını sağlar.

Arıza Belirtileri:

- Motorlardan birinin hiç çalışmaması veya uçuş sırasında aniden durması.

- Dron kalkışta veya uçuşta anormal hareket ederek takla atması.

- ESC'nin aşırı ısınması ve yanık kokusu yayması.

- ESC üzerindeki LED göstergelerinin yanmaması veya anormal yanıp sönmesi.

ESC Değişimi: Adım Adım Uygulama

Gerekli Malzemeler:

- Lehimleme seti (ısı kontrollü havya)
- Isıya dayanıklı cımbız
- Termal macun (bazı ESC modellerinde ısı dağılımı için gereklidir)
- Multimetre (devre sürekliliği ve kısa devre testi için)

Adım 1: Dronun bataryasını çıkararak tamamen enerjisiz hale getirin. (Özellikle XT60 veya benzeri güç konnektörünün çıkartılması görsel olarak desteklenmelidir.)

Adım 2: ESC'nin dron üzerindeki konumunu belirleyin. ESC genellikle motorun yanında veya dron gövdesinin alt katmanında, tek tek veya 4'ü bir arada kart şeklinde bulunabilir.

Adım 3: ESC'ye bağlı tüm kablo bağlantılarını dikkatlice inceleyin:

- Motor kabloları (genellikle 3 adet faz kablosu)
- Güç kabloları (kırmızı = pozitif, siyah = negatif)

- Sinyal kablosu (ESC ile uçuş kontrolcüsü arasında bağlantı)

Adım 4: Bağlantı noktalarını etiketleyin ve fotoğraflayın. Bu, yeni ESC'yi bağlarken yanlış bağlantı riskini önler.

Adım 5: Lehimleme ucunu ısıtarak eski ESC kablolarını dikkatlice ayırın. Kablo uçlarını ve lehim noktalarını hasar vermeden sökmeye özen gösterin.

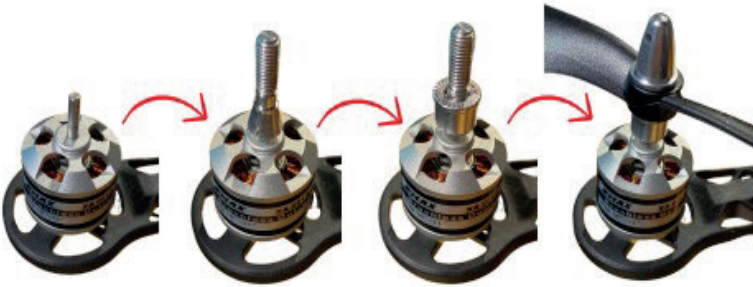
Adım 6: Yeni ESC'yi, eski ESC ile aynı bağlantı noktalarına lehimleyin:

- Sinyal kablosu uçuş kontrolcüsüne bağlanmalı.
- Üç motor kablosu, ilgili motor fazlarına doğru şekilde lehimlenmeli.
- Güç kabloları PDB veya doğrudan batarya hattına bağlanmalı.

Adım 7: Lehim bağlantılarını dikkatlice kontrol edin. Kısa devre olmadığından emin olmak için multimetre ile süreklilik testi yapın.

Adım 8: Bataryayı tekrar bağlamadan önce tüm bağlantıları gözden geçirin. Ardından test uçuşu yaparak ESC ve motorun düzgün çalıştığını doğrulayın.

4.3.3. Motor



Motor, dronun temel hareket aktüatörüdür. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek pervaneyi döndürür ve böylece dronun havalanması, manevra yapması ve stabil uçuşu sağlanır. Her motor, kendisine bağlı Elektronik Hız Kontrol Ünitesi (ESC) tarafından kumanda edilir.

Motor Arızası Belirtileri:

- Dron havalandırırken veya uçuş sırasında bir tarafa doğru eğilme veya kontrolsüz takla atma.
- Motorun çalışma esnasında anormal sesler çıkarması veya takılma, duraksama yapması.
- ESC'nin düzgün çalışmasına rağmen ilgili motorun dönmemesi veya güç üretmemesi.
- Motorun aşırı ısınması veya pervanenin olması gereken hızda dönmemesi.

Motor Değiştirme Prosedürü (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Mini tornavida
- Altıgen (Allen) anahtar (genellikle M2 veya M3)
- Lehimleme istasyonu
- Cımbız ve pense
- Isıya dayanıklı makaron (izolasyon için) ve makas
- Multimetre (isteğe bağlı, bağlantı testi için)

Adım 1: Bataryayı çıkararak dron sistemini tamamen enerjisiz hale getirin. Bu, işlem güvenliği açısından zorunludur.

Adım 2: Arızalı motoru teşhis edin. Bu genellikle ESC testi ile motorun hareket edip etmediği kontrol edilerek yapılır.

Adım 3: Motorun dron gövdesine sabitlendiği vidaları sökün. Çoğunlukla motorlar 2 veya 4 adet vida ile monte edilmiştir. Pervanenin sökülmüş olması gerekir.

Adım 4: Motor ile ESC arasındaki 3 adet kabloyu tespit edin. Bu kablolar genellikle lehimli veya konnektörlü bağlantı şeklindedir.

Adım5: Eski motor kablolarını, lehimleme istasyonu kullanarak dikkatlice sökün. Bağlantılara zarar vermemeye özen gösterin.

Adım 6: Yeni motoru, eski motorun vidalandığı aynı deliklere sağlam şekilde monte edin.

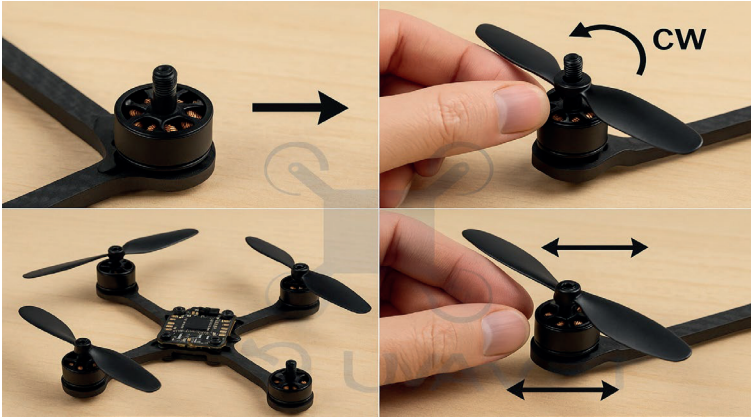
Adım 7: Motorun üç kablosunu, ESC üzerindeki aynı faz uçlarına lehimleyin.

Not: Motorun dönüş yönü değiştirilmek istenirse, iki faz kablosunun yerini değiştirerek bu sağlanabilir.

Adım 8: Lehimli bağlantıları makaron ile izole edin ve multimetre kullanarak kısa devre testi yapın.

Adım 9: Bataryayı bağlayarak sistemi açın ve motorun dönüş yönünü kontrol edin. Gerekirse, Betaflight gibi yazılımlar üzerinden motor yönü ayarı yapılabilir.

4.3.4. Pervane (Propeller)



Pervane Nedir?

Pervaneler, dron motorlarının döner hareketini kullanarak hava akımı oluşturur ve böylece dronun kaldırma kuvveti üretmesini sağlar. Bu kaldırma kuvveti dronun havalanmasına, alçalmasına ve yatay düzlemde ileri-geri ile sağa-sola hareketine olanak tanır.

Pervaneler çiftli sistem şeklinde, saat yönünde (Clockwise - CW) ve saat yönünün tersine (Counter-Clockwise - CCW) döner; bu sayede denge ve yön kontrolü sağlanır.

Ne İşe Yarar?

- Pervaneler, motorların ürettiği mekanik enerjiyi itici kuvvete dönüştürerek dronun havalanmasını sağlar.
- CW ve CCW yönlerinde dönüşleriyle, dronun dengeli uçuşunu ve manevra kabiliyetini mümkün kılar.
- Dronun stabilitesi, kontrol hassasiyeti ve uçuş performansı büyük ölçüde pervanelerin doğruluğuna, balansına ve yapısal sağlamlığına bağlıdır.

Arıza Belirtileri

- Uçuş sırasında dronda titreşim, sallanma veya dengesiz hareketler gözlemlenir.
- Pervanede fiziksel hasar (kırık, çatlak, eğilme) mevcut olabilir.
- Kalkış anında dron yönünü kaybeder veya devrilme eğilimi gösterir.
- Oluşan hava akımı yetersiz veya düzensizdir; dron kaldırma kuvvetini kaybeder.

Pervane Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

- Gerekli Malzemeler:
- Pervane anahtarı (spanner) veya elle sökme becerisi
- Yedek CW ve CCW pervane seti
- İstenirse küçük tork anahtarı (aşırı sıkımayı önlemek için)

Adım 1: Batarya bağlantısını tamamen kesin ve dronu enerjisiz hale getirin.

Adım 2: Değiştirilmesi gereken pervaneyi tespit edin. Görsel kontrol veya uçuş sırasında oluşan belirtiler yol gösterici olabilir.

Adım 3: Pervanenin dönüş yönünü not alın (CW veya CCW). Genellikle pervane üzerinde ok işareti ile gösterilir.

Adım 4: Pervaneyi elinizle veya pervane anahtarıyla dikkatlice sökün.

Not: Saat yönünde dönen (CW) pervaneler saat yönünün tersinde, CCW pervaneler ise ters yönünde sökülmalıdır.

Adım 5: Yeni pervaneyi doğru dönüş yönüyle motor miline yerleştirin.

- CW motorlara yalnızca CW pervane, CCW motorlara yalnızca CCW pervane takılmalıdır.
- Yanlış yönde takılması dron kontrolünü tamamen kaybetmeye sebep olur.

Adım 6: Pervaneyi sıkın; ancak aşırı tork uygulamaktan kaçının.

- Sabitleme contası veya rondela varsa mutlaka yerleştirin.
- Pervanenin gevşek olmadığını el ile kontrol edin.

Adım 7: Tüm pervaneler değiştirildikten sonra, motor test yazılımları (örneğin Betaflight'ın Motor tabı) kullanılarak dönüş yönleri kontrol edilmelidir.

Test Uçuşu

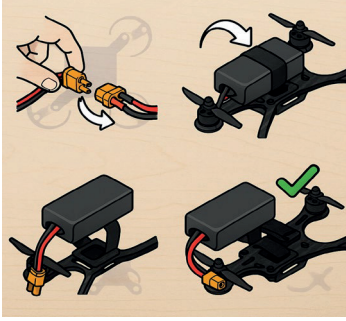
- İlk uçuşu düşük hız ve alçak irtifada gerçekleştirin.
- Dronun yön dengesine dikkat edin.
- Titreşim, ses veya sapma gibi olası sorunlarda pervane tekrar kontrol edilmeli ve gerekirse sökülüp yeniden takılmalıdır.

İpuçları

- Her uçuş öncesi pervanelerin gevşeklik durumu kontrol edilmelidir.
- Düşme veya çarpma sonrası mutlaka pervane fiziksel ve işlevsel olarak incelenmelidir.

- Yedek pervane setlerinde CW ve CCW pervaneler karıştırılmamalıdır; genellikle renk veya işaret farklılıklarıyla ayrılırlar.

4.3.5. Batarya (LiPo Batarya)



Batarya Nedir?

LiPo (Lityum Polimer) bataryalar, dron sistemlerinin ana enerji kaynağıdır. Hafif olmaları ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları nedeniyle özellikle multikopterlerde yaygın olarak kullanılırlar. Bataryanın kapasitesi (mAh) ve sağlığı, dronun uçuş süresi ve performansını doğrudan etkiler. LiPo bataryalar, genellikle 3S (3 hücreli), 4S (4 hücreli) veya daha fazla hücre sayısına sahip olabilir. Her hücrenin nominal voltajı yaklaşık 3.7V'dur.

Not: Hücre sayısı arttıkça bataryanın toplam voltajı da artar. Örneğin, 3S batarya yaklaşık 11.1V sağlar.

Ne İşe Yarar?

- ESC, motor, uçuş kontrolcüsü ve kamera gibi tüm elektronik bileşenlere enerji sağlar.
- Hücre sayısı ve kapasite, dronun güç ihtiyacı ve uçuş süresi için önemlidir.
- Voltaj (V) ve kapasite (mAh) dronun performansını ve uçuş süresini belirleyen temel ölçütlerdir.

Not: Yüksek kapasite (mAh) uzun uçuş süresi demektir, ancak batarya ağırlığını artırabilir.

Arıza Belirtileri ve Güvenlik Riskleri

- Bataryanın şişmesi veya deformasyonu tehlikelidir ve derhal değiştirilmelidir.
- Aşırı ısınma ya da hücreler arasında voltaj dengesizliği yangın riskini artırır.
- Uçuş süresi beklenmedik şekilde kalsırsa, batarya kapasitesi düşmüş olabilir.
- Ani voltaj düşüşleri dronun havada aniden kapanmasına yol açabilir.

Not: Şişmiş bataryalar kesinlikle kullanılmamalıdır, güvenlik açısından tehlikelidir.

Batarya Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

- Gerekli Malzemeler:
- XT60 veya XT90 güç konnektörleri (kablo uyumu için)
- Cırtlı batarya kayışı veya sabitleyici aparat
- Isıya dayanıklı çalışma yüzeyi veya mat
- LiPo güvenlik torbası (yangın riski için önerilir)

Adım 1: Eski bataryayı, kabloları çekme yapmadan sadece konnektörlerinden tutarak dikkatlice çıkarın.

Adım 2: Batarya bağlantı kablosunu ve konnektörünü kontrol edin. Uyumlu değilse uygun adaptör kullanılabilir.

Adım 3: Bataryayı dron gövdesine sabitleyen kayış veya aparat varsa dikkatlice çözün.

Adım 4: Yeni bataryayı doğru yönde (etiket üstte, kablolar arkada) yerleştirin. Ağırlık merkezinin bozulmaması önemlidir.

Adım 5: Cırtlı kayışla bataryayı sıkıca sabitleyin.

Adım 6: Güç kablosunu doğru polariteye göre bağlayın. Yanlış bağlantı, batarya ve uçuş kontrolcüsüne zarar verebilir. (+ işaretli uçlar birbirine, - işaretli uçlar birbirine bağlanmalıdır.)

Not: Polariteye dikkat etmek çok önemlidir, aksi halde elektronik donanım zarar görebilir.

Adım 7: Bataryanın hücre voltajlarını ölçün. İdeal aralık 3.7V (nominal) ile 4.2V (tam dolu) arasındadır.

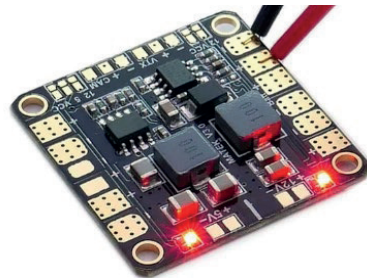
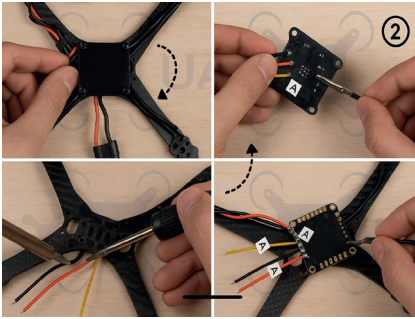
Adım 8: Sistemi açın ve LED göstergeleri kontrol ederek güç alındığını doğrulayın.

Test ve Güvenlik

- İlk uçuşta uçuş süresini kısa tutun ve batarya voltajını takip edin.
- Her şarj öncesi hücre dengeleme (balance) kontrolü yapın.
- Sadece LiPo uyumlu ve kaliteli şarj cihazları kullanın.
- Bataryaları uzun süre kullanmayacaksanız LiPo güvenlik torbasında saklayın ve doğrudan güneş ışığından koruyun.

Not: LiPo bataryalar hassastır; yanlış kullanım yangın riskini artırır, dikkatli olunmalıdır.

4.3.6. PDB (Güç Dağıtım Kartı)



PDB Nedir?

Güç Dağıtım Kartı (PDB), dron içerisindeki tüm elektronik bileşenlere bataryadan gelen elektrik enerjisini merkezi olarak dağıtan elektronik devredir. ESC'ler (Elektronik Hız Kontrolü), uçuş kontrolcüsü (Flight Controller), video vericiler (VTX), LED sistemleri ve diğer modüller PDB üzerinden beslenir. Pek çok PDB'de, farklı voltaj gereksinimlerini karşılamak için 5V ve 12V voltaj düzenleyiciler,

filtreler ve uçuş sırasında harcanan gücü ölçmeye yarayan akım sensörleri bulunur.

Ne İşe Yarar?

- Bataryadan gelen yüksek voltajı, dron bileşenlerinin ihtiyacına uygun, güvenli ve düzenli voltajlara dönüştürerek dağıtır.
- ESC'lere ve uçuş kontrolcüsüne doğrudan güç sağlar.
- 5V veya 12V çıkışları olan PDB'ler, farklı voltajda çalışan sensör ve cihazlara uygun enerji iletimini mümkün kılar.
- Akım sensörlü modellerde, uçuş sırasında enerji tüketimi takip edilerek batarya yönetimi optimize edilir.

Arıza Belirtileri

- Dron hiç açılmaz ya da uçuş sırasında tüm sistem bir anda kapanır.
- PDB üzerinde yanık izleri, koku veya siyahlaşma gibi fiziksel hasarlar gözlenir.
- ESC veya uçuş kontrolcüsü güç alamaz ve çalışmaz.
- Voltaj çıkışlarında dengesizlik veya 0V gibi anormal değerler ölçülür.
- Multimetre ile yapılan testlerde PDB çıkışlarında süreklilik yoktur.

PDB Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Lehimleme istasyonu (ısı kontrollü havya)
- Lehim teli, akı (flux), lehim pompası
- Multimetre (test için)
- Isıya dayanıklı makaron
- Cımbız ve pense

Adım 1: Dron bataryasını çıkararak tüm sistemi enerjisiz hale getirin.

Adım 2: PDB'ye bağlı tüm kabloları etiketleyin ve yüksek çözünürlüklü fotoğraflar çekerek bağlantı noktalarını belgeleyin. Bu, doğru bağlantı için çok önemlidir.

Adım 3: ESC, uçuş kontrolcüsü ve diğer tüm kablo bağlantılarını lehimleme ucu ile dikkatlice sökün.

Adım 4: PDB'nin sabitleme vidaları varsa sökün ve eski PDB'yi gövdeden çıkarın.

Adım 5: Yeni PDB'yi, orijinal konumuna ve pozisyonuna dikkat ederek dron gövdesine sabitleyin.

Adım 6: Kabloları sırayla uygun terminallere lehimleyin:

- ESC güç girişleri (+ ve -)
- Uçuş kontrolcüsü (FC), VTX, LED gibi cihaz çıkışları
- Batarya giriş konnektörü (genellikle XT60 soketi)

Adım 7: Lehim noktalarını multimetre ile kontrol ederek kısa devre olmadığından ve sürekliliğin sağlandığından emin olun ve - hatlarının birbirine temas etmediğini mutlaka doğrulayın.

Adım 8: Son görsel kontrolü yapın, bağlantılar sağlam ve doğruysa bataryayı bağlayarak sistemi enerjilendirin.

Test ve Kalibrasyon

- PDB çıkış voltajlarını (5V, 12V) multimetre ile ölçün.
- ESC ve uçuş kontrolcüsünün enerji aldığını doğrulayın.
- Eğer PDB üzerinde akım sensörü varsa, bu sensörün uçuş kontrolcüsüne doğru bağlandığını ve yazılımlar (Betaflight, iNav) üzerinden tanımlandığını kontrol edin.

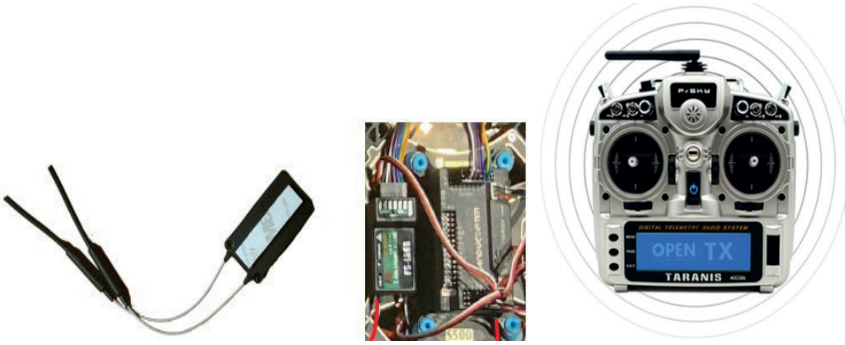
İpuçları

- Lehimleme işlemini hızlı ama dikkatli yapın; lehim pad'lerinin aşırı ısıdan zarar görmemesine özen gösterin.

- Güç kablolarının kısa ve kalın olması, yüksek akım taşıma kapasitesi için önemlidir ve aşırı ısınmayı önler.
- PDB'nin dron gövdesine temas eden kısmında izolasyon pedi veya plastik koruyucu bulunmalı; bu, kısa devre riskini ortadan kaldırır.

Not: PDB'nin düzgün çalışması, dronun genel güç yönetimi ve güvenliği için kritik öneme sahiptir.

4.3.7. Alıcı (Receiver)



Alıcı Nedir?

Alıcı (receiver), uzaktan kumandadan gelen radyo frekansı (RF) sinyallerini dron üzerindeki uçuş kontrolcüsüne aktaran elektronik modüldür. Pilotun kumandadan gönderdiği komutlar — gaz, yönlendirme, yükseklik kontrolü gibi — önce alıcı tarafından alınır, daha sonra uçuş kontrolcüsüne iletilir. Bu nedenle alıcı, dronun manuel veya yarı otonom kontrolünde kritik bir rol oynar.

Ne İşe Yarar?

- Uzaktan kumandadan gönderilen sinyalleri alır.
- Alınan sinyalleri uçuş kontrolcüsüne aktararak dron hareketlerini sağlar.
- Farklı veri aktarım protokolleri (PWM, PPM, SBUS, iBUS, CRSF - Crossfire) kullanır.
- Bazı alıcılar, sinyal kopması durumunda güvenlik için failsafe (acil durum) moduna geçer.

Not: Failsafe fonksiyonu, sinyal kaybında dronun güvenli bir şekilde davranmasını sağlar (örneğin iniş yapması).

Arıza Belirtileri

- Dron açıldığında “sinyal yok” uyarısı verir.
- Kumanda ile bağlantı kurulamaz.
- Alıcı üzerindeki LED göstergesi sabit kırmızı yanar veya hiç yanmaz.
- ESC’ler çalışmaz; çünkü uçuş kontrolcüsü sinyal alamaz.

Alıcı Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Mini tornavida
- Lehimleme istasyonu (bazı modeller için)
- Cımbız
- 3M bant veya çift taraflı montaj bandı
- Multimetre (bağlantı testi için isteğe bağlı)

Adım 1: Bataryayı çıkararak sistemi tamamen enerjisiz hale getirin.

Adım 2: Mevcut alıcının dron üzerindeki yerini tespit edin. Genellikle uçuş kontrolcüsüne yakın bir konumdadır.

Adım 3: Uçuş kontrolcüsüne bağlı sinyal kablolarını (3 pin: sinyal, +5V, GND) dikkatlice çıkarın. Eğer lehimli ise, lehimleme ucu kullanarak kabloları sökün.

Adım 4: Eski alıcıyı bant veya sabitleme aparatından çıkarın.

Adım 5: Yeni alıcıyı aynı pozisyona yerleştirin ve çift taraflı bant ile sağlam şekilde sabitleyin. Antenin yönü dışarı ve mümkünse titreşimsiz bir yerde olmalıdır.

Adım 6: Sinyal, +5V ve GND kablolarını doğru pinlere takın. Uçuş kontrolcüsündeki SBUS veya iBUS portuna bağlayın.

Adım 7: Kumanda ile eşleştirme (binding) işlemini gerçekleştirin. Genellikle bind tuşuna basılı tutarak alıcıyı açın ve kumandayı bind moduna alın.

Adım 8: Alıcı üzerindeki LED yeşil yanarsa bağlantı başarılıdır. Yazılım arayüzünde (örneğin Betaflight > Receiver Tab) hareket testlerini yapın.

Test ve Kalibrasyon

- Kumanda kollarını hareket ettirin ve yazılımda komutların karşılığını gözlemleyin.
- Kanal sıralaması (TAER / AETR) doğru mu kontrol edin.
- Failsafe ayarlarını yapılandırarak, sinyal kopması durumunda dronun ne yapacağını belirleyin.

İpuçları

- Alıcı ve antenleri, manyetik ve elektriksel parazit oluşturan motorlardan uzak yerleştirin.
- Antenler dron üzerinde 90° açılarla konumlandırılırsa sinyal gücü artar.
- Uzun menzilli uçuşlarda sinyal kalitesi ve loglarını düzenli olarak izleyin.

Not: Alıcı ve anten konumlandırması, sinyal kalitesi ve uçuş güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

4.3.8. GPS Modülü



GPS Nedir?

GPS (Global Positioning System) modülü, dronun dünya üzerindeki kesin konumunu, uydular aracılığıyla belirlemesini sağlar. Bu konum bilgisi, dronun otonom uçuş modları, konum sabitleme (Position Hold), ev dönüşü (Return to Home - RTH) ve waypoint (noktadan noktaya) görevlerinde kritik öneme sahiptir.

Ne İşe Yarar?

- Dronun anlık enlem, boylam ve irtifa koordinatlarını tespit eder.
- Hız ve yön (heading) verilerini sağlar.
- Otonom uçuş görevlerinde (örneğin önceden belirlenen rota takibi) vazgeçilmezdir.
- RTH fonksiyonu sayesinde kontrol sinyalinin kesilmesi durumunda dron güvenli şekilde başlangıç noktasına döner.

Not: GPS sinyal kaybı durumunda dron güvenlik moduna geçebilir.

Arıza Belirtileri

- Uydulara bağlanamama veya hiç GPS sinyali alamama.
- Dronun GPS moduna geçememesi.
- Yazılım arayüzünde GPS koordinatlarının görünmemesi.
- Gecikmeli, hatalı veya tutarsız konum verileri.

GPS Modülü Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Mini tornavida
- Cımbız
- Lehimleme istasyonu (bazı GPS modellerinde gerekebilir)
- GPS montaj plakası veya bant
- Multimetre (kontrol amaçlı, opsiyonel)

Adım 1: Dronun batarya bağlantısını keserek sistemi enerjisiz hale getirin.

Adım 2: GPS modülünün dron üzerindeki yerini tespit edin. Genellikle dronun üst kısmında, titreşimden izole edilmiş, açık alana bakan bir zemine monte edilir.

Adım 3: GPS anten kablosunu uçuş kontrolcüsüne bağlayan 4 telli kabloyu çıkarın. Bu kablolar genellikle TX (verici), RX (alıcı), 5V ve GND hatlarından oluşur.

Adım 4: Modülün sabitlendiği bant veya montaj aparatını dikkatlice çıkarın.

Adım 5: Yeni GPS modülünü aynı pozisyonda ve yönlendirmede monte edin.

- En iyi uydu sinyali için anten yönü yukarı bakmalı ve çevresinde metal veya manyetik alan kaynakları olmamalıdır.

Adım 6: TX ve RX uçlarını çapraz bağlayarak uçuş kontrolcüsüne takın (TX → RX, RX → TX). GND ve 5V kablolarını da doğru pinlere bağlayın.

Adım 7: Dronu açın ve yazılım üzerinden (örneğin Betaflight > GPS Tab) GPS bağlantısını kontrol edin.

Adım 8: GPS modülünün 6 veya daha fazla uyduyla bağlantı kurarak “kilitlenmesini” bekleyin. Kilitlenme sonrası sistem uçuşa hazırdır.

Test ve Kalibrasyon

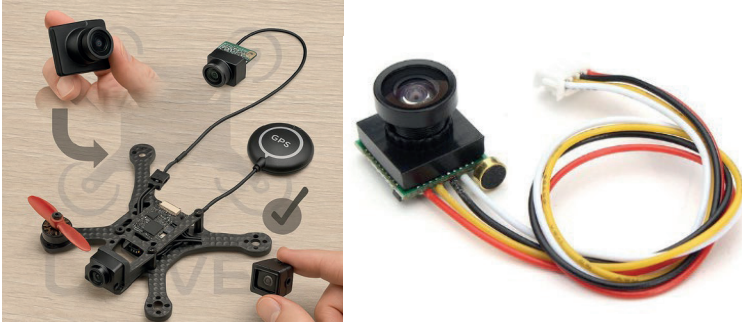
- RTH fonksiyonunu test etmek için kontrollü bir test uçuşu yapılabilir.
- GPS üzerinden alınan hız ve yön verileri yazılım arayüzünde gözlenmeli.
- GPS log dosyaları incelenerek uçuş geçmişi ve konum doğruluğu doğrulanmalıdır.

İpuçları

- GPS anteni, metal yüzeylerden ve motorların oluşturduğu manyetik alanlardan mümkün olduğunca uzak yerleştirilmelidir.
- Anten yönü her zaman yukarıya bakmalı ve titreşimden izole edilmelidir.
- GPS modülleri özellikle yeni veya sinyal zayıf bölgelerde ilk açılışta kilitlenme süresi uzayabilir; sabırlı olunmalıdır.

Not: GPS modülünün konumu ve montajı, dronun navigasyon başarısı için kritik önemdedir.

4.3.9. Kamera ve Görüntüleme Sensörleri



Kamera ve Görüntüleme Sensörleri Nedir?

Kamera, dronun dış dünyayı görmesini ve bu görüntüyü pilotun FPV (First Person View) ekranına veya gözlüğüne gerçek zamanlı aktarmasını sağlayan optik bir bileşendir. Görüntüleme sensörleri ise, kameranın ışık bilgisini dijital sinyale dönüştüren elektronik elemanlardır; en yaygın kullanılan türleri CMOS sensörlerdir. Kamera, hem manuel pilotajda hem de otonom uçuş görevlerinde pilotun çevreyi algılamasına, engellerden kaçmasına, hedef takibine ve kayıt yapmasına olanak tanır.

Ne İşe Yarar?

- Gerçek zamanlı görüntü aktarımı sağlar (FPV sistemi).
- Video ve fotoğraf kaydı yapar; genellikle kayıt SD karta yapılır.

- Otonom görevlerde görsel veriye dayalı hareket kararlarını destekler.

- Görsel algılama, hedef takibi ve iniş platformu tanıma gibi gelişmiş fonksiyonlarda kullanılır.

Arıza Belirtileri

- FPV ekranına görüntü gelmemesi.
- Siyah ekran veya bozuk piksel gibi görüntü sorunları.
- Kamera bağlantılarında gevşeklik nedeniyle görüntü kesintileri.

- Işık algılama sorunları: aşırı karanlık veya aşırı parlak görüntüler.

- FPV görüntüsünde parazit veya kesintili iletim.

Kamera Nasıl Değiştirilir? (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Küçük tornavida
- Lehimleme istasyonu (bazı modellerde gerekebilir)
- Cımbız
- Montaj bandı veya titreşim önleyici pad
- FPV bağlantı kablosu (genellikle 3-4 pin)

Adım 1: Bataryayı çıkararak sistemi tamamen enerjisiz hale getirin.

Adım 2: Kameranın dron gövdesindeki konumunu tespit edin (genellikle ön yüzde bulunur).

Adım 3: Kamera bağlantı kablosunu çıkarın. FPV kameralar genellikle 3 pinlidir: video çıkışı (VTX), güç (5V) ve toprak (GND).

Adım 4: Kamerayı sabitleyen vidaları veya bantları dikkatlice sökün. Bazı modellerde kamera yan çerçeveye vidalanmış olabilir.

Adım 5: Yeni kamerayı aynı montaj pozisyonuna yerleştirin. Gerekirse titreşim önleyici kauçuk ped kullanın.

Adım 6: Kabloları sırayla bağlayın:

- Video kablosu → VTX girişine
- +5V ve GND → PDB veya uçuş kontrolcüsünden enerji bağlantısına

Adım 7: Dronu çalıştırarak FPV ekran veya gözlükle görüntüyü test edin.

Adım 8: Görüntü varsa, kamera açısını pilotun görüş yönüne göre ayarlayın ve sabitleyin.

Test ve Kalibrasyon

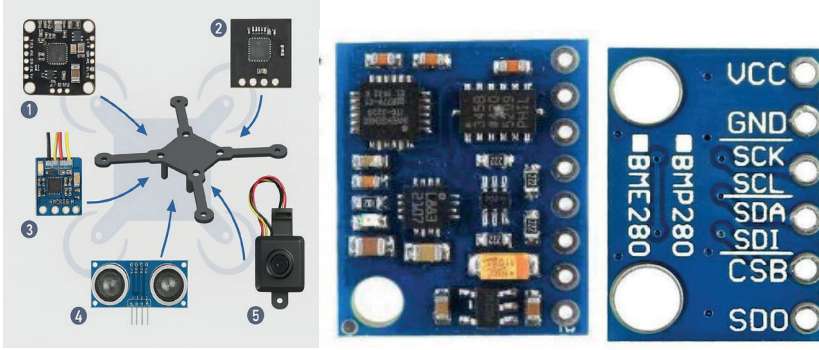
- Kamera görüntüsünün netliği kontrol edilmelidir; bulanıklık varsa lens temizlenmelidir.
- Işık koşullarına göre görüntü kalitesi değerlendirilmelidir (karanlıkta bozulma olup olmadığı).
- VTX üzerinden video aktarımının kesintisiz ve stabil olması gerekir.
- Görüntü gecikmesi (latency) mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

İpuçları

- Kamera lensini çizilmelere karşı korumak için lens kapağı kullanımı önerilir.
- Kamera ve VTX kabloları, manyetik alan yaratan motor ve ESC gibi bileşenlerden uzak tutulmalıdır.
- Yüksek kaliteli FPV kablosu, sinyal kalitesini ve iletim stabilitesini artırır.
- Kameranın dış yüzeyinin aşırı toz ve neme maruz kalmaması gerekir.

Not: Kamera ve görüntüleme sisteminin stabil ve güvenilir çalışması, FPV uçuş güvenliği için hayati öneme sahiptir.

4.3.10. Sensörler (IMU, Barometre, Pusula vb.)



Sensörler Nedir?

Sensörler, dronun çevresini ve kendi hareketlerini algılayarak uçuş kontrolcüsüne sürekli veri ileten elektronik birimlerdir. Bu sensörler, dronun denge, yönelim, yükseklik ve konum bilgilerini ölçerek istikrarlı ve kontrollü uçuşun sağlanmasına yardımcı olur.

Ne İşe Yararlar?

- **IMU (Inertial Measurement Unit):** İvmeölçer ve jiroskop içerir. Dronun üç eksenindeki hareket ve yönelim bilgisini sağlar.
- **Barometre:** Hava basıncını ölçerek dronun irtifasını hesaplar. Yükseklik sabitleme ve altimetre fonksiyonlarında kullanılır.
- **Pusula (Compass):** Dronun manyetik kuzeye göre yönünü belirler. GPS destekli rota takibi ve oto-yönlendirme için kritiktir.
- **Optik Akış veya TOF Sensör:** İniş sırasında yere olan mesafeyi ölçer veya sabit duruş için hareket algılaması yapar.

Not: Bu sensörler birlikte dronun uzamsal farkındalığını oluşturur ve uçuş güvenliği için vazgeçilmezdir.

Arıza Belirtileri

- Dron bir yöne doğru sürekli kayar veya savrulur.

- İniş ve kalkışta seğirme, zıplama veya yön sapmaları görülür.
- GPS modu çalışmaz veya yön kilidi sağlanamaz.
- Barometre hatası nedeniyle yükseklik sabitlemez.
- Yazılım arayüzünde “Sensor Error”, “Gyro Not Found”, “Bad Compass Health” gibi hata uyarıları belirir.

Sensörler Nasıl Değiştirilir veya Yeniden Bağlanır?

Gerekli Malzemeler:

- Lehimleme istasyonu (lehimli sensörler için)
- Mikro konnektör çıkarma pensi
- Cımbız
- Statik elektrikten koruma bilekliği
- Kalibrasyon yazılımı (Betaflight, iNAV, Mission Planner)

Adım 1: Bataryayı çıkararak sistemi enerjisiz hale getirin.

Adım 2: Arızalı sensörün yer aldığı modül veya harici sensör tespit edilir (genellikle uçuş kontrolcüsü (FC) üzerinde bulunur).

Adım 3: Sensörün bağlantı konnektörü (I2C, SPI veya UART gibi) dikkatlice sökülür. Eğer sensör doğrudan lehimliyse, lehimleme istasyonu ile hassas şekilde ayrılır.

Adım 4: Yeni sensör aynı modüle, doğru yön ve pin sırasına uygun olarak monte edilir. Sensörlerin çoğu yönlü çalıştığı için ters takılması yanlış veri üretimine yol açar.

Adım 5: Bağlantılar tamamlandıktan sonra sistem yeniden enerjilendirilir.

Sensör Kalibrasyonu (Yazılımla)

- **IMU Kalibrasyonu:** Dron farklı eksenlerde sabit düzlemlere yerleştirilir (örneğin Betaflight > Setup menüsünde yapılır).
- **Compass Kalibrasyonu:** Dron her ekseninde 360° çevrilerek manyetik alan değerleri toplanır.

- **Barometre Kalibrasyonu:** Genellikle otomatik yapılır, ancak havalandırılmalı bir ortamda manuel test önerilir.
- **GPS – Compass Hizalama:** Yön ve pusula eşleşmesi kontrol edilir.

İpuçları

- Sensörler motorlardan, ESC'lerden ve diğer manyetik alan oluşturan bileşenlerden mümkün olduğunca uzak yerleştirilmelidir.
- Kalibrasyon işlemleri açık alanda, elektromanyetik parazitlerden uzak ortamda yapılmalıdır.
- Uçuş kontrolcüsüne (FC) entegre sensör arızalanırsa genellikle FC kartının komple değiştirilmesi gerekir.
- İniş takımı altına yerleştirilen optik sensörler toz, kir ve nemden korunmalıdır.

Not: Sensörlerin sağlıklı çalışması dronun uçuş stabilitesi ve güvenliği için kritik önemdedir.

4.3.11. İniş Takımı ve Koruyucu Elemanlar



İniş Takımı ve Koruyucu Elemanlar Nedir?

İniş takımı, dronun yere temas ettiği ve iniş sırasında darbe enerjisini emerek elektronik ve mekanik bileşenleri koruyan yapısal parçadır. İnişin yumuşak gerçekleşmesini sağlar, dronun sabit ve dengeli bir platforma oturmasına yardımcı olur.

Koruyucu elemanlar ise; pervane koruyucular, gövde destekleri, darbe emici kauçuklar, anten kalkanları ve benzeri parçaları içerir. Bu bileşenler, dronun düşme, çarpma veya sürtünme gibi fiziksel etkilere karşı korunmasını sağlar.

Ne İşe Yararlar?

- **İniş Takımı:** Sert zemine temas sırasında şok dalgalarını emerek dron gövdesini ve iç bileşenleri korur.
- **Pervane Koruyucu:** Pervanelerin kaza anında kırılmasını veya zarar görmesini engeller.
- **Gövde Koruyucu / Darbe Emici:** Hassas elektronik parçaların fiziksel darbelerden zarar görmesini önler.
- **Anten Sabitleyici:** FPV antenlerinin kırılmasını ve yerinden çıkmasını engeller.

Arıza Belirtileri

- Dron yere inişte veya yerde dengesiz duruyorsa, bir yana yatıyorsa.
- İniş takımı çatlamış, kırılmış veya esnemiş olabilir.
- Koruyucu elemanlar darbeye gevşemiş veya yerinden çıkmış olabilir.
- Uçuş sırasında titreşimlerde artış gözlemleniyorsa (özellikle yumuşak iniş pedleri yoksa).

Değişim Süreci (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Mini tornavida (genellikle M2 veya M3)
- Yeni iniş takımı veya yedek koruyucu set
- Cımbız
- Çift taraflı bant veya montaj pedleri (bazı modeller için)
- Plastik bağlantı kelepçesi (zip tie)

Adım 1: Dronun tüm güç kaynaklarını kesin, sistem enerjisiz hale getirilmelidir.

Adım 2: Kırık, hasarlı veya işlevini yitirmiş iniş takımı parçalarını tespit edin. Genellikle dron tabanına sabitlenmiş 2 veya 4 parçadan oluşur.

Adım 3: İniş takımını sabitleyen vidaları veya montaj aparatlarını sökün. Bazı modellerde tırnaklı geçmeli sistemler olabilir, dikkatlice çıkarın.

Adım 4: Yeni iniş takımını orijinal konumuna ve simetrik şekilde monte edin. Yükseklik dengesi, kalkış ve iniş performansını doğrudan etkiler.

Adım 5: Koruyucu elemanları yerleştirin:

- Pervane koruyucu genellikle pervane hizasına veya motor yuvasına sabitlenir.
- Darbe emici pedler dron tabanına çift taraflı bantla yapıştırılır.
- Anten kalkanları veya destekleri FPV antenlerinin kırılmasını önlemek için dron arka kısmına monte edilir.

Adım 6: Dronu düz ve sert bir yüzeye yerleştirin. Tüm parçaların eşit yükseklikte ve simetrik olduğundan emin olun.

Test ve Uçuş Öncesi Kontroller

- Dron kalkış öncesinde düz ve dengeli zeminde durmalı.
- Her iniş sonrası iniş takımının vidaları, bantları ve montaj elemanları gevşememiş olmalı.
- Koruyucu elemanların uçuş sırasında titreşim yapmadığı kontrol edilmeli.

İpuçları

- Plastik iniş takımları yerine karbon takviyeli veya hafif alüminyum malzemeler tercih edilmelidir; dayanıklılık artar.
- Eğitim amaçlı kullanılan dronlarda pervane koruyucuların kullanımı zorunludur.

- Koruyucu parçalar fazla ağır olmamalı, dronun uçuş dinamiğini ve performansını olumsuz etkilememelidir.

4.3.12. Gimbal



Gimbal Nedir?

Gimbal, dron üzerindeki kameranın titreşimsiz, sabit ve dengeli görüntü vermesini sağlayan elektronik ve mekanik bir dengeleme sistemidir. Genellikle 2 eksenli (pitch-yaw) veya 3 eksenli (pitch-yaw-roll) motorlarla donatılmıştır. Dron hareket etse bile, gimbal üzerindeki kamera yatay düzlemde sabit kalır ve böylece net görüntü veya video elde edilir. Gimbal, hem manuel kumanda ile hem de otomatik olarak çalışabilir.

Ne İşe Yarar?

- Dron uçuşu sırasında oluşan titreşimleri ve sarsıntıları absorbe ederek görüntünün sabit kalmasını sağlar.
- Profesyonel video ve fotoğraf çekimlerinde yüksek görüntü kalitesi sunar.
- Kamera açısını uzaktan kontrol etme imkânı tanır (örneğin FPV kontrolcü üzerinden).
- Otonom görevlerde belirli açıyla görüntü yakalama ve nesne takibi işlevlerinde kullanılır.

- Görüntü işleme algoritmalarına sabit referans noktası sağlar.

Arıza Belirtileri

- Kamera sürekli titriyor, dalgalanıyor veya yön sabitleme işlevi çalışmıyorsa.
- Gimbal motorlarından gelen mekanik sesler veya ısınma gözlemleniyorsa.
- Dron açıldığında gimbal kalibrasyon hareketlerini yapmıyorsa.
- Gimbal kumanda ile tepki vermiyorsa veya açı değiştirmiyorsa.
- Görüntü açısı sabit kalmıyor, uçuş yönüne göre sürükleniyorsa.

Gimbal Değişimi ve Montajı (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Mini tornavida ve Alyan anahtar
- Cımbız ve pense
- Lehimleme istasyonu (bazı modellerde)
- Yedek gimbal (uyumlu model)
- Bağlantı kabloları (UART, servo sinyali vb.)

Adım 1: Dronun bataryasını çıkararak sistemi tamamen enerjisiz hale getirin.

Adım 2: Mevcut gimbal modülünün konumunu belirleyin. Genellikle dronun ön alt kısmında yer alır ve titreşim önleyici kauçuk askılarla monte edilmiştir.

Adım 3: Kamera bağlantı kabloları, güç hattı ve sinyal kablolarını dikkatlice sökün. Her bağlantı için etiketleme yapın veya fotoğraf çekin.

Adım 4: Gimbalı sabitleyen vidaları ve bağlantı aparatlarını sökün. Askı kauçukları varsa dikkatlice çıkarın.

Adım 5: Yeni gimbalı aynı yönde ve ekseninde olacak şekilde yerine yerleştirin. Kamera lensi dron önüne bakacak şekilde hizalanmalıdır.

Adım 6: Gimbal güç kablolarını ve sinyal bağlantılarını uygun pinlere bağlayın (örneğin UART1 TX/RX).

Adım 7: Gimbal kalibrasyonunu yazılım üzerinden gerçekleştirin (örneğin Betaflight, Mission Planner, gimbal üretici yazılımı).

Adım 8: Test uçuşu yaparak gimbalın düzgün çalışıp çalışmadığını, görüntü sabitliğini ve kamera hareketlerini gözlemleyin.

Test ve Kalibrasyon

- Gimbal açılışta kendi kendine kalibrasyon hareketi yapmalıdır.
- FPV sisteminde görüntüde titreme veya yön kayması olmamalıdır.
- Kumanda üzerinden yapılan tilt ve pan hareketleri sorunsuz olmalıdır.
- Gerekirse yazılım üzerinden PID ayarları ve motor gücü dengesi yeniden yapılmalıdır.

İpuçları

- Gimbal motorlarını elle zorlamayın, bu motorlara zarar verebilir.
- Aşırı toz, nem ve titreşimden korunması için kamera ve gimbal düzenli temizlenmelidir.
- Kamera ve gimbal kabloları kısa ve sıkıca sabitlenmiş olmalıdır, serbest kablolar gimbalı etkileyebilir.
- Gimbal yazılımı ve firmware güncellemeleri düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Not: Gimbal sisteminin düzgün çalışması, görüntü kalitesi, FPV güvenliği ve profesyonel çekimler için kritik önemdedir.

4.3.13. Kablolama ve Konnektörler

Kabloleme Nedir?

Dron sistemlerinde kabloleme, tüm elektronik bileşenlerin (motorlar, ESC, uçuş kontrolcüsü, batarya, GPS, alıcı, kamera vb.) birbirine bağlanmasını sağlayan temel altyapıdır. Güç iletim kabloları, sinyal taşıyıcı hatlar ve veri iletim hatları olmak üzere üç temel grupta toplanır. Kabloleme düzeni, dronun elektriksel verimliliği, sinyal kararlılığı ve güvenliği açısından büyük önem taşır.

Ne İşe Yarar?

- Elektrik enerjisinin bataryadan ESC'lere, motorlara ve kontrol kartlarına güvenli şekilde iletilmesini sağlar.
- ESC, alıcı, sensörler gibi parçalar arasındaki kontrol sinyallerini taşır.
- Telemetri, görüntü ve GPS gibi veri iletimlerini sağlar (UART, I2C, SPI, SBUS, vb.).
- Sistem genelinde doğru polarite ve voltaj seviyelerinin korunmasına yardımcı olur.
- Modüler sistemlerde konnektörler sayesinde parça değişimi kolaylaşır.

Yaygın Kullanılan Kablo ve Konnektör Türleri

- **Güç Kabloları:** 12-16 AWG kalınlıkta silikon yalıtımlı kablolar (batarya-ESC-PDB arası)
- **Sinyal Kabloları:** 26-30 AWG tekli veya çoklu jumper hatlar (FC-ESC-alıcı arası)
- **FPV Kabloları:** 3-4 pinli video aktarım hatları (kamera-VTX arası)
- **Konnektör Tipleri:**
 - XT60 / XT90: Batarya bağlantıları için
 - JST / PH / SH: Alıcı ve sensör bağlantıları
 - Servo (3 pin): Sinyal + 5V + GND için

- USB / Micro-USB / Type-C: Konfigürasyon ve güncellemeler için

Arıza Belirtileri

- Sistemin hiç açılmaması (kablo kopması veya yanlış bağlantı)
- Düzensiz güç iletimi nedeniyle ESC veya FC'nin kapanıp açılması
- Uçuş sırasında ani güç kesintileri veya sinyal kayıpları
- Telemetri verilerinin iletilmemesi, görüntü kaybı yaşanması
- Yanlış lehim nedeniyle kısa devre oluşması (yanık kokusu, duman)

Doğru Kablolama ve Bağlantı Prosedürü (Adım Adım)

Gerekli Malzemeler:

- Lehimleme istasyonu ve kaliteli lehim teli
- Makas, pense, cımbız
- Isıya dayanıklı makaron ve ısı tabancası
- Multimetre (süreklilik ve voltaj testi için)
- Konnektör seti (XT60, JST, servo, vb.)
- Kablo bağı ve düzenleyici spiral

Adım 1: Tüm sistemin enerjisini kesin, bataryayı sökün.

Adım 2: Bağlantı yapılacak kabloları uygun kalınlıkta ve yalıtımlı şekilde hazırlayın. Uzunlukları kısa ve işlevine uygun olmalıdır.

Adım 3: Lehimlenecek kablo uçlarını dikkatlice sıyırın ve lehim teliyle ön kaplama (tinleme) yapın.

Adım 4: Lehimleme işlemini hızlı ve temiz şekilde yapın.

- Güç kabloları için lehim pedleri güçlü olmalı.
- Sinyal kablolarında ters bağlantıdan kaçının.

Adım 5: Lehim sonrası makaron ile izolasyon sağlayın, gerekirse ısı tabancası kullanın.

Adım 6: Konnektörlerin doğruluğunu multimetre ile test edin (özellikle + ve - uçlar).

Adım 7: Kabloları sabitlemek için kablo bağı veya izole edici pedler kullanın. Gevşek ve oynar bağlantılar ileride arıza kaynağı olabilir.

Test ve Kalibrasyon

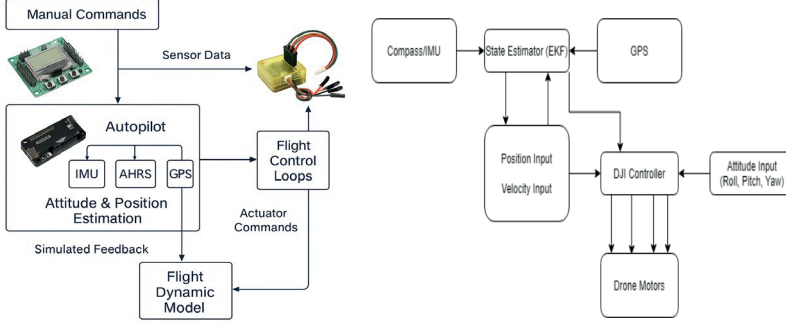
- Multimetre ile tüm güç hatlarında voltaj testi yapılmalı.
- Sinyal kabloları bağlantı noktaları (UART1, SBUS, i2C) doğru porta takılmış mı kontrol edilmeli.
- Yazılım arayüzünden bağlantılı tüm bileşenler tanınıyor mu doğrulanmalı (ESC, alıcı, GPS, vb.).
- Sistemi açmadan önce tüm kablo yolları tekrar gözden geçirilmelidir.

İpuçları

- Sinyal kabloları motor kablolarından uzak tutulmalı (parazit önleme)
- Renk kodlaması kullanın: Kırmızı (+), Siyah (-), Beyaz/Sarı (sinyal)
- Lehimleme kalitesine dikkat edin; zayıf lehim uzun vadede arıza çıkarır.
- Her yeni sistemde kablo yollarını şematik olarak planlamak ileride bakım kolaylığı sağlar.
- Gereksiz uzun kablolardan kaçının; sistemde ağırlık ve dağınıklık oluşturur.

Not: Sağlıklı kablolama ve konnektör kullanımı, bir dronun güvenli ve sorunsuz çalışması için olmazsa olmazdır. En küçük kablo hatası, sistemin tamamını riske atabilir.

4.4. YAZILIM YÜKLEME VE GÜNCELLEME PROSEDÜRLERİ



Bölümün Amacı

Bu bölüm, dron uçuş kontrol yazılımının yüklenmesi, güncellenmesi ve fonksiyonlarının test edilmesine dair kapsamlı bir rehber sunar. Ayrıca, dron yazılım mimarisi, simülasyon teknolojileri ve küresel yazılım ekosistemi hakkında temel bilgileri içerir. Yazılım alanında hiç deneyimi olmayan kullanıcıların bile temel kavramları anlamalarını ve uygulamalarını sağlamak hedeflenmiştir. Bu sayede hem teorik bilgi hem de pratik uygulama bir arada sunulur.

4.4.1. Dron Yazılımı Nedir?

Dron yazılımı, uçuş kontrolcüsü, sensörler, GPS, motorlar ve diğer elektronik bileşenler arasındaki veri akışını düzenleyen, sistemleri entegre eden ve dronun uçuş operasyonlarını yürüten bir yazılım bütünüdür. Bu yazılım, genellikle iki ana katmanda organize edilir:

Uçuş Kontrol Yazılımı (Firmware):

Dronun anlık uçuş durumunu algılar, sensör verilerini işler, uçuş komutlarını motor sürücülerine iletir ve dronun stabil, güvenli uçuşunu sağlar. Bu katman, donanım ile doğrudan etkileşim kurar ve gerçek zamanlı karar mekanizmasını oluşturur. Örneğin, açık kaynaklı PX4 ve ArduPilot firmware'leri bu kategoriye girer.

Yer Kontrol Yazılımı (Ground Control Station - GCS):

Dron operatörlerinin bilgisayar veya mobil cihaz üzerinden dron ile iletişim kurmalarını, görev planlamalarını, uçuş rotalarını belirlemelerini ve telemetri verilerini gerçek zamanlı izlemelerini

sağlayan yazılım katmanıdır. Popüler GCS yazılımları arasında QGroundControl ve Mission Planner bulunur.

Ek Katmanlar ve Entegrasyon:

Bazı ileri sistemlerde, otonom uçuş, yapay zeka ve görüntü işleme modülleri gibi ek yazılım katmanları da bulunabilir. Bu modüller, dronun çevresel algılama ve karmaşık görevleri yerine getirme yeteneklerini artırır.

Yazılımın Önemi ve İşlevleri

Dron yazılımı, yalnızca donanımın kontrolü değil, aynı zamanda uçuşun güvenliği, doğruluğu ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Doğru yazılım, dronun stabilitesini artırır, sensör verilerini doğru şekilde işler ve acil durumlarda otomatik müdahaleleri (örneğin RTH - Return To Home) tetikler.

4.4.2. Temel Terimler ve Bileşenler

Terim	Açıklama
FC (Flight Controller)	Dronun merkezi beyni olarak görev yapar; tüm sensör verilerini işler ve motorlara komut gönderir.
Firmware	FC üzerine yüklü temel yazılım katmanıdır. Güncellenebilir ve uçuş performansını belirler.
GCS (Ground Control Station)	Kullanıcının bilgisayarında veya mobil cihazında çalışan, uçuş planlama, veri izleme ve yazılım güncellemelerini sağlayan yazılımdır.
USB / Serial Driver	Dron ile bilgisayar arasında veri alışverişini mümkün kılan sürücülerdir.
IMU / AHRS / INS	Dronun yönelim, ivme ve pozisyonunu belirleyen sensör sistemleridir. (IMU: Ataletsel ölçüm birimi, AHRS: Attitude and Heading Reference System, INS: Inertial Navigation System)
MAVLink	Dron ile yer kontrol istasyonu arasında iletişimi sağlayan hafif ve standartlaştırılmış protokoldür.
Bootloader / DFU Modu	Firmware yükleme ve güncelleme sırasında kullanılan özel çalışma modlarıdır.

4.4.3. Dron Yazılım Mimarisi

Dron otopilot yazılım sistemi, uçuş sırasında aşağıdaki işleyişi takip eder:

- **Sensör Verilerinin Toplanması:** IMU, GPS, AHRS ve INS gibi sensörler dronun hareket, konum ve yön bilgilerini gerçek zamanlı toplar.
- **Kontrol Döngüsü:** Toplanan veriler uçuş kontrol döngüsüne aktarılır ve burada analiz edilerek karar mekanizması oluşturulur.
- **Komut Üretimi:** Kontrolcü, işlenen veriler doğrultusunda motorlara ve diğer aktüatörlere komutlar gönderir.
- **Manuel ve Telemetri İletişimi:** RC kumanda sinyalleri ve telemetri verileri ile manuel kontrol ve uzaktan izleme sağlanır.
- **Sürücü Yönetimi:** Serial driver'lar hem giriş (sensörlerden) hem çıkış (motor ve diğer aktüatörlere) veri akışını yönetir.
- **Flight Dynamic Model:** Uçuş karakteristiklerini simüle ederek, uçuş performansı test edilir (özellikle simülasyonlarda kullanılır).

4.4.4. Yazılım Yükleme: Adım Adım

Hazırlık:

- Dron USB kablosu ile bilgisayara bağlanır.
- Gerekli yazılım (örneğin Betaflight Configurator) bilgisayara kurulur.
- Seri port sürücüleri (örneğin Zadig) yüklü olmalıdır.

Yazılım Yükleme Süreci:

- Flight Controller USB üzerinden bilgisayara bağlanır.
- GCS uygulaması (Betaflight, iNav, Mission Planner vb.) açılır.
- Uçuş kontrolcüsü modeli seçilir (örn. STM32F405 gibi).

- “Firmware Flasher” sekmesinden uygun firmware sürümü seçilir.
- “Flash Firmware” butonuna basılarak yükleme başlatılır.
- Firmware yüklendikten sonra FC yeniden başlatılır ve sistem otomatik olarak tanınır.

Not: Bazı uçuş kontrolcü modellerinde firmware yüklemek için cihaz üzerindeki “BOOT” butonuna basılması veya DFU (Device Firmware Upgrade) moduna geçiş yapılması gerekebilir.

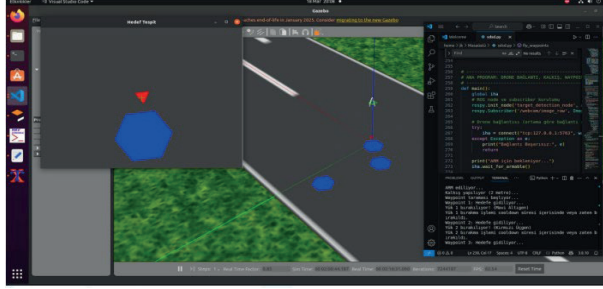
4.4.5. ESC Güncelleme (Elektronik Hız Kontrolü)

- Dron bataryası takılır.
- BLHeli Suite veya BLHeli Configurator gibi ESC güncelleme yazılımları açılır.
- ESC’ler tanıtılır ve varsa firmware güncellemesi yapılır.
- Motor yönleri yazılım üzerinden test edilir ve gerekirse ters çevrilir.

4.4.6. Gelişmiş Dron Yazılımı Platformları

Platform	Özellik
PX4 Autopilot	Endüstriyel kullanıma uygun, açık kaynaklı ve modüler yapıya sahip bir uçuş kontrol yazılımıdır.
ArduPilot	Sabit kanatlı, multikopter, kara ve deniz araçları gibi çoklu platformları destekleyen açık kaynaklı yazılım.
DJI SDK	DJI tarafından geliştirilen, gelişmiş mobil uygulamalar ve kapalı sistem dron entegrasyonları için SDK.
ROS	Robot İşletim Sistemi; AI destekli uçuş mantığı, otonom görevler ve SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) uygulamaları için kullanılır.

4.4.7. Simülasyon Sistemleri: SITL ve HITL



SITL (Software in the Loop): SITL, gerçek donanım olmadan yazılım seviyesinde yapılan uçuş simülasyonudur. Uçuş kontrol yazılımı, bilgisayar üzerinde sanal ortamda çalıştırılır ve uçuş dinamikleri simüle edilir. Bu yöntem, yazılım geliştirme ve test süreçlerini hızlandırır, donanım gereksinimini ortadan kaldırır ve riskli durumların güvenli bir ortamda incelenmesini sağlar. Özellikle uçuş kontrol algoritmalarının doğrulanması için kullanılır.

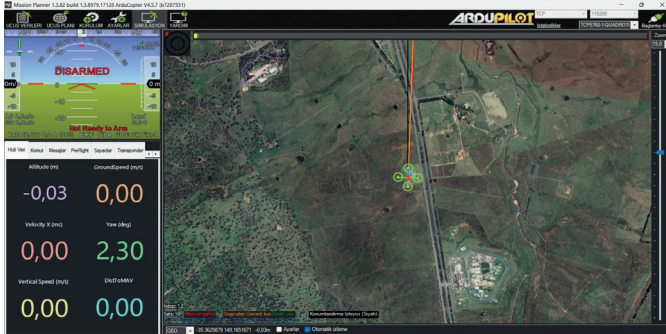
HITL (Hardware in the Loop): HITL simülasyonu, gerçek uçuş kontrolcüsü donanımının simülasyon ortamına entegre edilmesiyle yapılır. Bu sayede, yazılım ve donanım birlikte test edilir. Sensör verileri ve kontrol komutları gerçek zamanlı olarak donanım ve simülatör arasında aktarılır. HITL, uçuş kontrolcüsünün gerçek performansını değerlendirmek ve donanım-yazılım entegrasyon sorunlarını tespit etmek için kritik öneme sahiptir.

Simülasyon Araçları: Karşılaştırmalı Detaylı Tablo

Simülatör	SITL Desteği	HITL Desteği	ROS Desteği	Açıklama
AirSim	✓	✓	◆ (dolaylı)	Microsoft tarafından geliştirilen, Unreal Engine tabanlı simülasyon platformu. İnsansız araçların yapay zeka testleri ve görüntü işleme için kullanılır.

Gazebo	✓	✓	✓	Robot İşletim Sistemi (ROS) ile tam entegrasyon sunar. Fizik motorları ve sensör simülasyonu ile gerçekçi drone uçuş ortamları oluşturur.
JMavSim	✓	✓	✓	PX4 ekosistemine entegre, hafif ve hızlı çalışan simülatör. Temel uçuş dinamikleri ve navigasyon testleri için idealdir.
FlightGear	✓	✓	✗	Açık kaynaklı, geniş dünya haritası ve gerçekçi hava koşulları sunan uçuş simülatörü. Genellikle eğitim amaçlı ve genel havacılık simülasyonlarında tercih edilir.
X-Plane	✓	✓	✗	Profesyonel ve ticari uçuş simülatörü. Yüksek fiziksel gerçeklik ve ayrıntılı uçuş dinamikleri sağlar. Gelişmiş kullanıcılar ve ticari pilot eğitimi için uygundur.
MATLAB / Simulink	✓	✓	◻	Özellikle akademik ve araştırma amaçlı, kontrol sistemleri ve dinamik modelleme için kullanılır.

4.4.8. GCS (Yer Kontrol Yazılımları) — Detaylı İnceleme



QGroundControl:

- **Uyumluluk:** PX4 ve MAVLink protokolü desteklenir.

- **Özellikler:** Kullanıcı dostu grafik arayüzü ile görev planlama, canlı telemetri görüntüleme, uçuş parametrelerinin detaylı ayarlanması ve harita üzerinde rota çizimi sağlar. Mobil ve masaüstü versiyonları mevcuttur.

- **Avantajlar:** Açık kaynaklıdır, düzenli güncellenir, çok platformlu destek sunar.

Mission Planner:

- **Uyumluluk:** ArduPilot tabanlı araçlar için geliştirilmiştir.
- **Özellikler:** Detaylı uçuş ayarları, sensör kalibrasyonları, gelişmiş günlükleme ve uçuş sonrası veri analizi sunar.

- **Kullanım Alanı:** Profesyonel kullanıcılar ve araştırmacılar tarafından tercih edilir.

MAVProxy:

- **Uyumluluk:** MAVLink tabanlı tüm dronlarda çalışır.
- **Özellikler:** Komut satırı tabanlıdır, düşük kaynak tüketimiyle terminal üzerinden kontrol ve otomasyon işlemleri sağlar.

- **Avantajlar:** Hafif yapısı ile otomasyon ve entegrasyon projelerinde idealdir.

UGCS (Universal Ground Control Software):

- **Uyumluluk:** Çoklu dron platformları ile uyumludur.
- **Özellikler:** Gelişmiş harita tabanlı görev planlama, filo yönetimi, hava sahası yönetimi ve görev otomasyonu gibi profesyonel çözümler sunar.

- **Kullanım Alanı:** Ticari ve endüstriyel dron operasyonları için uygundur.

Ek Bilgiler

- **MAVLink Protokolü:** GCS ile dron arasındaki iletişim için standart protokoldür. Telemetri verileri, komutlar ve sensör bilgileri bu protokol üzerinden aktarılır.

- **Simülasyonların Önemi:** Gerçek uçuş öncesi yazılım ve donanımın test edilmesini sağlar, maliyet ve riskleri azaltır.
- **GCS Yazılımlarının Seçimi:** Kullanıcı ihtiyacı, dron tipi ve görev kapsamına göre değişir. Basit görevler için QGroundControl, ileri düzey analizler için Mission Planner veya ticari operasyonlar için UGCS tercih edilir.

4.4.9. Parametre Yedekleme/Geri Yükleme Prosedürleri

Bölümün Amacı

Bu bölüm, dron uçuş kontrol sisteminde kullanılan tüm konfigürasyon parametrelerinin (PID ayarları, sensör kalibrasyonları, uçuş modları, limit değerleri vb.) yedeklenmesi ve gerektiğinde geri yüklenmesi sürecini açıklamaktadır. Bu işlem, sistemin sıfırlanması, firmware güncellemesi veya farklı bir uçuş kontrolcüsüne geçiş gibi durumlarda zaman ve emek kaybını önler. Hem güvenlik hem de sürdürülebilir sistem yönetimi açısından kritik bir adımdır.

Yedekleme Nedir ve Neden Önemlidir?

Dron uçuş kontrol yazılımlarında yapılan tüm ayarlar sistem belleğinde saklanır. Bu ayarlar, uçuş karakteristiklerini doğrudan etkiler.

Yedekleme işlemi, bu ayarların harici bir dosya olarak kaydedilmesini sağlar ve sistemin bozulması ya da değiştirilmesi durumunda aynı konfigürasyonun tekrar kullanılmasını mümkün kılar.

Avantajları:

- Firmware güncellemesi sonrası tüm ayarları kolayca geri yükleme
- Farklı dron platformları arasında benzer ayarları taşıma
- Sorun tespiti ve karşılaştırma amacıyla geçmiş parametreleri inceleyebilme
- Eğitim kurumlarında standart ayarların çoğaltılması

Yedeklenebilecek Parametreler (Örnek)

- PID değerleri
- RC ayarları ve mod tanımlamaları
- ESC kalibrasyon bilgileri
- Sensör kalibrasyon verileri (IMU, Compass, Baro)
- Failsafe ayarları
- Gimbal, GPS, OSD konfigürasyonları
- Otomatik uçuş görevleri (waypoints)

Adım Adım Yedekleme Prosedürü

Gerekli Yazılımlar:

- Betaflight Configurator (Multikopter için)
- Mission Planner (ArduPilot tabanlı sistemler için)
- QGroundControl (PX4 sistemleri için)

1. Sistem Bağlantısı:

Dron, USB kablosu ile bilgisayara bağlanır.

İlgili yer kontrol yazılımı açılır ve bağlantı sağlanır.

2. Parametre Yedekleme:

Betaflight:

- "CLI" sekmesine geçilir.
- diff all komutu yazılır → sadece değişen parametreler listelenir.
- Çıktı tümüyle seçilir ve .txt uzantılı dosya olarak dışa aktarılır.
- Alternatif: dump komutu ile tüm yapılandırmalar alınabilir.

Mission Planner:

- "CONFIG/TUNING" sekmesinden "Full Parameter List" veya "Full Parameter Tree" seçilir.

- Sağ altta “Save to File” tuşuna basılarak .param uzantılı dosya olarak dışa aktarılır.

QGroundControl:

- “Parameters” sekmesinde sağ üstten yedekleme simgesi tıklanır.
- .params dosyası olarak bilgisayara kaydedilir.

Adım Adım Geri Yükleme (Restore) Prosedürü

1. Yeni veya sıfırlanmış uçuş kontrolcüsü bilgisayara bağlanır.
2. GCS yazılımı üzerinden parametre geri yükleme seçilir.

Betaflight:

- CLI sekmesine geçilir.
- Önceden alınan diff all çıktısı CLI penceresine yapıştırılır.
- save komutu ile sistem yeniden başlatılır.

Mission Planner:

- “Load from File” seçeneği ile .param dosyası yüklenir.
- "Write Params" butonuna basılarak parametreler sisteme yazılır.

QGroundControl:

- Önceden yedeklenen .params dosyası içe aktarılır.
- Sistem otomatik olarak parametreleri tanır ve uygular.

İpuçları ve Uyarılar

- Geri yükleme işleminden önce kullanılan firmware sürümü ile yedek alınan firmware sürümünün uyumlu olması gerekir. Aksi takdirde bazı parametreler geçersiz olabilir.
- Farklı donanım yapılarına (örneğin farklı IMU veya ESC) sahip dronlara yedek parametreler aktarılırken dikkatli olunmalı, yalnızca ortak parametreler uygulanmalıdır.

- diff dosyaları düzenlenebilir; manuel olarak sadece istenen ayarlar geri yüklenebilir.
- Yedek dosyalarının tarih, dron modeli ve firmware bilgisiyle adlandırılması karışıklıkları önler.

Ekstra Güvenlik Önerileri

- Her önemli ayar değişikliğinden sonra yeni bir yedek alınmalıdır.
- Yedekler bulut ortamında veya harici disklerde saklanmalıdır.
- Eğitim ve filo yönetimi yapan kurumlar için merkezi bir yedekleme havuzu oluşturulması önerilir.

Not: Parametre yedekleme ve geri yükleme işlemleri, özellikle geliştirme, test ve operasyonel süreçlerde ciddi zaman ve maliyet avantajı sağlar. Bu işlemi alışkanlık haline getirmek, her seviyede kullanıcı için kritik öneme sahiptir.

4.4.10. Fabrika Ayarlarına Sıfırlama (Reset) Prosedürleri

Bölümün Amacı

Bu bölüm, dron uçuş kontrolcüsü yazılımının fabrika ayarlarına döndürülmesi işlemlerini kapsamaktadır. Sıfırlama (reset) işlemi, sistemde oluşan karmaşık konfigürasyon hataları, kararsız uçuş davranışları, uyumsuz parametreler ya da yeni bir kullanıcıya devretme gibi durumlarda gereklidir. Bu işlem sonrası cihaz, yazılımın varsayılan fabrika ayarlarına geri döner ve yeniden yapılandırmaya hazır hale gelir.

Sıfırlama Nedir ve Ne Zaman Yapılır?

Fabrika ayarlarına sıfırlama, uçuş kontrol kartındaki tüm parametrelerin sistem tarafından ön tanımlanmış (default) değerlerine dönmesini sağlar.

Genellikle şu durumlarda uygulanır:

- Yanlış yapılan yazılım ayarlarının geri alınamaması

- Yeni firmware yüklemesinden sonra beklenmeyen sistem davranışları
- Geri yüklenen parametrelerin kararsız uçuşa yol açması
- Dron başka bir kullanıcıya/öğrenciye devredilirken sistemin sıfırlanması
- PID, sensör veya UART yapılandırmalarında sorun tespiti için temiz başlangıç

Uyarılar

- Sıfırlama işlemi geri alınamaz. Tüm mevcut ayarlar silinir.
- Sıfırlama öncesi parametre yedeği alınması şiddetle önerilir.
- Donanımsal bir sorun varsa reset işe yaramaz; öncelikle fiziksel test yapılmalıdır.

Sıfırlama Yöntemleri (Yazılıma Göre)

1. *Betaflight Configurator ile Sıfırlama*

Adımlar:

- Dron USB ile bilgisayara bağlanır.
- Betaflight açılır ve uçuş kontrolcüsüne bağlanılır.
- Sol menüdeki CLI sekmesine geçilir.
- Aşağıdaki komut yazılır:

defaults

save

- Sistem yeniden başlatılır ve tüm ayarlar fabrika değerlerine döner.

Alternatif:

Ana menüde Reset Settings veya Full Chip Erase seçeneği olan firmware yükleme ekranı kullanılarak da sıfırlama yapılabilir.

2. Mission Planner ile Sıfırlama

Adımlar:

- Mission Planner açılır, dron bağlanır.
- Config/Tuning sekmesine gidilir.
- Full Parameter List altında sağ altta bulunan Reset to Default seçeneği tıklanır.
- Uyarılar onaylanır ve sistem otomatik olarak varsayılan değerlere döner.
- Write Params tuşuna basılarak sistem yeniden başlatılır.

3. QGroundControl ile Sıfırlama

Adımlar:

- Dron USB ile bağlanır, QGroundControl başlatılır.
- Parameters sekmesine girilir.
- Sağ üstteki Reset All to Defaults butonu seçilir.
- Onaylandıktan sonra sistem otomatik yeniden başlatılır.

4. Donanımsal Buton ile Sıfırlama (Bazı FC'lerde Mevcuttur)

Bazı uçuş kontrolcülerde fiziksel "RESET" veya "BOOT + POWER" kombinasyonu ile sıfırlama yapılabilir.

Kullanım yöntemi kart modeline göre değiştiğinden üretici dökümantasyonu kontrol edilmelidir.

Sonraki Adımlar:

Fabrika ayarlarına dönüşten sonra aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- Sensör kalibrasyonları yeniden yapılmalıdır (IMU, compass, baro).
- Uçuş modları ve kumanda ayarları yeniden yapılandırılmalıdır.
- ESC kalibrasyonu ve motor yön testi yapılmalıdır.
- Gerekliyse diff yedeği ile seçili parametreler geri yüklenebilir.

İpuçları

- Firmware güncellemesi sonrası reset yapmak sistem uyumsuzluklarını önleyebilir.
- defaults komutu sadece parametreleri sıfırlar, firmware'i değiştirmez.
- Aynı kartı farklı bir dron platformuna taşıyacaksan reset işlemi temiz bir başlangıç sağlar.
- Eğitim amaçlı kullanılan dronlarda her öğrenci öncesi sıfırlama yapılması önerilir.

Not: Fabrika ayarlarına dönüş işlemi, deneyimsiz kullanıcıların yanlış yapılandırmalardan kurtulmasını ve uçuş güvenliğinin artırılmasını sağlar. Bu nedenle her kullanıcı bu işlemi güvenle ve bilinçli şekilde uygulayabilmelidir.

4.5. PARÇA DEĞİŞİM SÜREÇLERİNE YÖNELİK UYGULAMALI DEĞERLENDİRME

Bölümün Amacı

Bu bölümün amacı, İnsansız Hava Araçları (İHA) üzerinde parça değiştirme işlemlerini gerçekleştiren bireylerin, uygulamalı yeterliliklerini değerlendirmektir. Değerlendirme, yalnızca **4.3 Dron Parçalarının Tanıtımı, Değişimi ve Arıza Tipleri** başlığı altındaki 13 parçayı kapsar.

Değerlendirme Kapsamı

Aşağıdaki 13 temel parçanın değişim süreçleri, **adım adım uygulama doğruluğu, güvenlik kurallarına uyum, doğru araç kullanımı** ve **işlem süresi** kriterleriyle değerlendirilecektir:

1. Uçuş Kontrolcüsü (FC)
2. ESC (Elektronik Hız Kontrol Cihazı)
3. Motor
4. Pervane
5. Batarya

6. PDB (Güç Dağıtım Kartı)
7. Alıcı (Receiver)
8. GPS Modülü
9. Kamera / Görüntüleme Sensörleri
10. Sensörler (IMU, Barometre, Pusula)
11. İniş Takımı
12. Koruyucu Elemanlar (Pervane Kafesi vb.)
13. Montaj sonrası test (güç, bağlantı, yön kontrolü)

Değerlendirme Yöntemleri

Yöntem	Açıklama
Uygulamalı Performans Görevi	Her öğrenciye rastgele bir parça atanır, uygulamalı söküm/takım yapması beklenir.
Kontrol Listesi ile Gözlem	Eğitmen, kontrol listesine göre her adımı gözlemleyip işaretler.
Zaman Kriteri	İşlem sürelerinin belirli sınırlar içinde tamamlanması beklenir.
Güvenlik ve ESD Uyumu	ESD bilekliği, lehimleme güvenliği ve araçların doğru kullanımı değerlendirilir.

Örnek Kontrol Listesi (Uçuş Kontrolcüsü Değişimi)

Kriter	Puan	Açıklama
Enerji kaynağının kesilmesi	5	İşleme başlamadan batarya sökülmeli
Kabloların işaretlenmesi ve fotoğraflanması	10	Tüm bağlantılar doğru belgelenmiş mi?
Eski parçanın sökümü	10	Lehimleme zarar vermeden yapılmış mı?
Yeni parçanın uygun montajı	20	Doğru yön ve vidalama kontrolü
Bağlantıların doğruluğu	20	Ters polarite veya boşta kablo var mı?
Lehim kalitesi	10	Soğuk lehim / kısa devre riski
Son test (USB bağlantı / LED yanması)	15	FC düzgün başlatılıyor mu?
Genel düzen ve iş güvenliği	10	Araç gereç kullanımı, iş yeri temizliği

Toplam: 100 puan

Puanlama Ölçeği

Puan Aralığı	Başarı Düzeyi
90 – 100	Mükemmel – Tüm prosedürleri eksiksiz ve hatasız uygulamış
75 – 89	Başarılı – Küçük hatalar dışında yeterli düzeyde

Puan Aralığı

Başarı Düzeyi

60 – 74	Geliştirilmeli – Kritik olmayan eksiklikler mevcut
0 – 59	Başarısız – Uygulama prosedürüne hâkim değil

Ölçme Döngüsü ve Belgelendirme

- Değerlendirme sonucu her öğrenci için bireysel rapor hazırlanır.
- Gerekirse tekrar uygulama ve düzeltme hakkı verilir.
- Tüm işlemler video/fotoğraf ile belgelenir ve dosyalanır.

4.6. TEMEL EKİPMAN KULLANIMI VE DRONDA UYGULAMALARI

Bölümün Amacı

Bu bölümde temel amaç kullanıcının dron tamir bakım onarım veya arıza tespit işlemi sırasında kullanabileceği ekipmanların temel niteliklerini aktarmak ve farklı teknikleri göstermektir.

4.6.1. Multimetre Kullanımı ve Dronda Uygulamaları

Bölümün Amacı

Bu bölümde, multimetre kullanımının temelleri ile birlikte, bu cihazın dron sistemlerinde nasıl ve hangi durumlarda kullanıldığı anlatılmaktadır. Multimetre; voltaj, akım, direnç gibi elektriksel değerlerin ölçülmesinde ve arıza tespitinde kullanılan vazgeçilmez bir test cihazıdır. Elektronik bileşenlerden oluşan dron sistemlerinde multimetre ile yapılabilecek kontroller, bakım süreçlerini güvenli ve etkili hâle getirir.

Kullanıcılar bu bölüm sayesinde hem temel ölçüm tekniklerini öğrenecek, hem de pratikte karşılaşılan arıza tespiti, bağlantı kontrolü ve güvenlik testlerini multimetre ile nasıl yapabileceklerini uygulamalı şekilde kavrayacaklardır.

Multimetre Nedir?

Multimetre, birden fazla elektriksel büyüklüğü ölçebilen dijital veya analog bir ölçüm cihazıdır. Genellikle aşağıdaki ölçüm modlarını içerir:

- DC Voltaj ($V=$): Sabit gerilim ölçümü (örneğin batarya kontrolü)
- AC Voltaj ($V\sim$): Alternatif gerilim ölçümü (bazı dron şarj sistemlerinde)
- Direnç (Ω): Devre veya bileşenlerdeki direnç değeri ölçümü
- Devamlılık Testi (Continuity / Buzzer Modu): İki nokta arasında iletkenlik olup olmadığını kontrol eder (bip sesi verir)
- Akım Ölçümü (A): Devreden geçen akımı ölçer (genellikle seri bağlantı ile)

Dronda Multimetre Kullanım Alanları

Uygulama Alanı	Ölçüm Türü	Açıklama
Batarya voltaj kontrolü	DC Voltaj	Lipo bataryanın sağlıklı voltaj aralığında olup olmadığı kontrol edilir.
Güç kablolarında kısa devre testi	Devamlılık (buzzer)	Batarya + ve - uçları arasında kısa devre olup olmadığı tespit edilir.
ESC – Motor bağlantı testi	Devamlılık / Direnç	ESC'den motora giden kabloların bağlantısı kontrol edilir.
Lehim noktası sağlamlığı kontrolü	Devamlılık	Lehimlenen uçların birbirine bağlı olup olmadığı test edilir.
Konnektör kontrolü	Devamlılık	XT60, servo, JST gibi konnektörlerin iletkenlik durumu kontrol edilir.
PDB çıkış voltaj kontrolü	DC Voltaj	Güç dağıtım kartı (PDB) çıkışlarının doğru voltaj verip vermediği ölçülür.
Voltaj regülatörü testi	DC Voltaj	5V ve 12V çıkışların doğruluğu kontrol edilir.
Sigorta, direnç vb. pasif bileşen testi	Direnç	Bileşenlerin devreye uygun çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.

Temel Kullanım: Adım Adım

Gerekli Malzeme:

- Dijital multimetre
- Multimetre problemleri (kırmızı: pozitif / siyah: negatif)

- Dron (enerjisiz durumda başlamak tavsiye edilir)

1. DC Voltaj Ölçümü (Batarya Testi):

- Multimetre “DCV” konumuna alınır (örneğin 20V skalasına).
- Siyah prob bataryanın eksi (-), kırmızı prob artı (+) ucuna temas ettirilir.

- Okunan değer:

- 3S batarya için $\approx 11.1-12.6V$
- 4S batarya için $\approx 14.8-16.8V$ olmalıdır.

2. Kısa Devre Kontrolü (Continuity Testi):

- Multimetre “Buzzer / Continuity” moduna alınır.
- İki prob kısa devre olan bir hatta değdirildiğinde cihaz bip sesi verir.
- Batarya bağlantı soketinde artı ve eksi uçlar arasında bip sesi gelirse bu kısa devre belirtisidir.

3. Direnç Ölçümü (Lehim veya bileşen testi):

- Multimetre “ Ω ” konumuna getirilir.
- İki prob lehimlenmiş veya bağlantılı uçlara dokundurulur.
- $0-1\Omega$ arası değer sağlıklı bağlantı anlamına gelir. Sonsuz değer veya çok yüksek direnç varsa kopukluk olabilir.

4. PDB Voltaj Çıkış Testi:

- Batarya bağlanır (dikkatli olunmalı).
- Multimetre ile PDB’nin 5V veya 12V çıkışına ölçüm yapılır.
- Düşük ya da sıfır voltaj, PDB arızası veya lehim hatası olabilir.

Güvenlik Uyarıları

- Batarya bağlıyken ölçüm yaparken kısa devreye neden olmamak için problemleri dikkatli kullanın.

- Akım ölçümü yapılacaksa mutlaka cihaz seri bağlanmalı ve cihazın “10A” portu kullanılmalıdır.
- Kısa devre testini batarya bağlıyken yapmayın.
- Yüksek akım taşıyan hatlarda önce voltaj, ardından süreklilik testi yapılmalıdır.

İpuçları

- Multimetre uçlarını renklendirilmiş krokodil klipsle sabitlemek elleri serbest bırakır.
- Her yeni kurulum sonrası sistem açılmadan önce kısa devre testi yapılmalıdır.
- Arıza anında ilk bakılacak yer: batarya voltajı ve güç hatlarıdır.
- Birden fazla dron ile çalışılıyorsa etiketlenmiş test noktaları oluşturmak sistematik kontrol sağlar.

Not: Multimetre, sadece profesyonel teknisyenler değil, hobi amaçlı dron kullanıcıları için de en temel ve kritik araçtır. Doğru kullanıldığında, birçok sorunun önüne geçer ve bakım süreçlerini güvenli hâle getirir.

4.6.2. Osiloskop Temel Kullanımı ve Dronda Uygulamaları

Bölümün Amacı

Bu bölüm, osiloskop cihazının temel işlevlerini, kullanım yöntemlerini ve özellikle dron sistemlerindeki uygulama alanlarını öğretmeyi amaçlamaktadır. Osiloskop; elektriksel sinyallerin zamana bağlı değişimini gözlemlemeyi sağlayan, özellikle sinyal kalitesi, iletişim protokolleri ve gürültü analizi için vazgeçilmez bir test cihazıdır.

Bu bölümde, dron sistemlerinde osiloskop ile test edilebilecek sinyaller (PWM, UART, ESC sinyalleri, sensör çıkışları) tanıtılacak ve kullanıcılar temel dalga formu okuma, frekans, voltaj ve sinyal sürekliliği analizlerini yapabilecek düzeye getirilecektir.

Osiloskop Nedir?

Osiloskop, bir devredeki elektriksel sinyallerin genlik-zaman (V-t) grafiğini anlık olarak görüntüleyebilen bir cihazdır. Sinyallerin şekli, frekansı, genliği, periyodu ve gürültü içeriği gibi özelliklerini analiz etmeye imkân tanır.

Dron sistemlerinde genellikle dijital osiloskoplar kullanılır.

Osiloskop ile Ölçülebilen Temel Büyüklükler

Ölçüm Parametresi	Açıklama
Genlik (V_{pp} / V_{max})	Sinyalin tepe noktaları arasındaki voltaj farkı
Frekans (Hz)	Sinyalin bir saniyedeki tekrar sayısı
Periyot (T)	Sinyalin bir çevrimdeki süresi
PWM Genişliği (ms)	ESC ve servo sinyallerindeki darbe süresi
Gürültü / Ripple	Güç hatlarında istenmeyen sinyal dalgalanmaları
UART / SBUS	Seri haberleşme protokollerinin doğruluğu ve süresi

Dron Sistemlerinde Osiloskop Uygulamaları

Uygulama	Açıklama
ESC PWM sinyali analizi	FC → ESC sinyallerinin darbe süresi ve frekansı test edilir.
UART bağlantı kontrolü	FC ile GPS, alıcı veya telemetri modülü arasındaki veri akışı incelenir.
Sensör çıkış testi (örneğin barometre, IMU)	Analog çıkışlı sensörlerin voltaj tepkisi gözlemlenir.
PDB / regülatör gürültü analizi	5V / 12V çıkış hatlarındaki ripple tespiti yapılır.
Gimbal / servo sinyal testi	PWM sinyallerin düzgünlüğü ve frekansı kontrol edilir.

Temel Osiloskop Kullanımı: Adım Adım

Gerekli Ekipman:

- Dijital osiloskop (minimum 2 kanal)

- Prob seti (1x / 10x zayıflatma seçeneğine sahip)
- Uygulama için açık dron sistemi veya test kartı

1. Probu Bağlama:

- Siyah (GND) klips probu sistemin toprak hattına bağlanır.
- Uç prob (genellikle BNC → kanca ucu), ölçülecek sinyal hattına bağlanır.

2. Kanal Ayarları:

- Kanal 1 seçilir, 1x / 10x prob zayıflatma ayarı doğru konumlandırılır.
- Volt/div ve time/div ayarları yapılır (örneğin 2V/div – 1ms/div).
- Ekranda sinyalin şekli görülene kadar değerler optimize edilir.

3. Trigger Ayarı:

- Sinyalin sabitlemesi için trigger modu (Edge, Auto) ayarlanır.
- Yükselen veya azalan kenar seçilir, trigger seviyesi sinyalin ortasına getirilir.

4. İnceleme:

- Sinyalin frekansı, genliği, duty cycle (PWM için) ve şekli incelenir.
- Düzensiz dalga şekli, gürültü, voltaj düşümü varsa not edilir.
- Seri veri sinyallerinde start/stop bitleri veya baud rate doğruluğu kontrol edilir.

Uygulamalı Dron Testi Örneği: ESC PWM Analizi

- Flight controller açıkken ESC sinyal pinine prob bağlanır.
- Gözlemlenen PWM sinyalinin frekansı genellikle 400 Hz – 600 Hz civarındadır.
- PWM darbe süresi, throttle pozisyonuna göre 1000µs (0%) – 2000µs (100%) arasında değişir.

- Düzgün olmayan dalga şekli → gürültü / bağlantı sorunu işareti olabilir.

Güvenlik Uyarıları

- Osiloskop ile doğrudan batarya voltajı ölçülmemelidir; cihaz zarar görebilir.
- Prob topraklama ucu yanlış hatta bağlanırsa kısa devre riski oluşur.
- Farklı sistemlerde ölçüm yapılacaksa prob zayıflatma oranı mutlaka kontrol edilmelidir.
- Yüksek frekanslı veri hatlarında prob konumlandırması çok önemlidir (parazitlenmeye neden olabilir).

İpuçları

- Herhangi bir sinyal kablosunu kestirip ölçüm için özel test noktaları oluşturmak ölçüm kolaylığı sağlar.
- Uzun süreli sinyal analizi için osiloskop kayıt (storage) modları kullanılabilir.
- PDB çıkışları test edilirken regülatör ripple seviyesi $\leq 50\text{mV}$ olmalıdır.
- PWM sinyalleri osiloskopta kare dalga formu olarak görünmelidir.

Not: Osiloskop kullanımı, dron sistemlerinde ileri seviye teşhis ve hata ayıklama işlemlerinde kritik rol oynar. Özellikle sinyal seviyelerinin doğruluğu, bağlantı güvenliği ve sistem kararlılığı için bu cihazın doğru şekilde kullanılması, sistem mühendisi ve teknisyenler için vazgeçilmez bir beceridir.

4.6.3. Lehimleme Teknikleri ve Dronda Uygulamaları

Bölümün Amacı

Bu bölüm, elektronik devre montajında temel bir beceri olan lehimleme işlemini detaylarıyla açıklamayı ve bu tekniğin dron sistemlerinde nasıl uygulandığını öğretmeyi amaçlamaktadır.

Lehimleme; kabloların, konnektörlerin, devre bileşenlerinin ve kart üzerindeki pad'lerin kalıcı olarak birleştirilmesini sağlar. Dron sistemlerinde güvenli, dayanıklı ve doğru sinyal ileten bağlantılar için doğru lehimleme hayati öneme sahiptir.

Lehimleme Nedir?

Lehimleme, iki veya daha fazla metal parçanın, eriyik lehim teli kullanılarak birleştirilmesidir. Bu işlem, ısı yardımıyla yapılır ve bağlantı noktalarının hem mekanik dayanıklılığını hem de elektriksel iletkenliğini sağlar. Genellikle kullanılan lehim alaşımı %60 kalay – %40 kurşun (Sn/Pb) veya kurşunsuz RoHS uyumlu lehimlerdir.

Lehimlemede Kullanılan Temel Malzemeler

Malzeme	Açıklama
Havya (Lehim Kalemi)	Ucundan ısı üreten, farklı watt seçenekleri olan el aleti
Lehim Teli	Kalay esaslı, içinde flux (akı) bulunan tel
Flux (Akı Maddesi)	Lehimin yüzeye yayılmasını ve oksitleri temizlemesini sağlar.
Lehim Pompası / Tel Örgü	Hatalı lehim temizlemek için kullanılır.
Isıya Dayanıklı Cımbız / Pense	Bileşenleri sabitlemek için kullanılır.
Makaron ve Isı Tabancası	Lehim sonrası kablo izolasyonu sağlar.

Drona Lehimleme Gerekli Başlıca Noktalar

Bileşen	Lehimleme Noktası
PDB (Power Distribution Board)	ESC güç kabloları, batarya konnektörü
ESC – Motor Bağlantısı	3 faz motor kablosu → ESC pad'leri
FC – Alıcı / GPS / Telemetri	UART / I2C sinyal kabloları
Kamera – VTX	Video ve güç hatları
Sensör Modülleri	I2C, SPI veya doğrudan lehimli bağlantılar

Temel Lehimleme Adımları

1. Yüzeyi Temizle:

Lehim yapılacak pad veya kablo ucu temiz ve oksitsiz olmalı. Gerekliyse alkol ve pamukla silin.

2. Havya Isısını Ayarla:

Genel lehimleme için 320–370 °C idealdir. Aşırı ısı pad'lere zarar verebilir.

3. Lehim Telini ve Ucu Hazırla:

Lehim telini havya ucuna hafifçe değdirilerek uç kısmı tinlenir (ön kaplama yapılır).

4. Lehimleme:

- Havya ucu lehimlenecek yüzeye temas ettirilir.
- Lehim teli ısıtılan noktaya değdirilerek erimesi sağlanır.
- Lehim düzgün şekilde yayılmalı, “parlak ve pürüzsüz” olmalıdır.
- Havya çekildikten sonra bağlantı sabit tutulmalıdır (soğuyana kadar).

5. Kontrol ve Temizlik:

Soğuduktan sonra bağlantı kontrol edilir. Gerekirse flux kalıntısı izopropil alkol ile temizlenir.

Dron Uygulama Örneği: XT60 Batarya Soketi Lehimleme

Malzemeler: XT60 konnektör, 12 AWG silikon kablo, lehim teli, makaron

Adımlar:

- Kabloların uçları sıyrılır ve tinlenir.
- XT60 konnektörün + ve – uçları belirlenir.
- Kablolar konnektöre lehimlenir (kısa sürede, temas ettirerek).
- Lehim noktaları makaronla izole edilir.
- Multimetre ile süreklilik testi yapılır.

Sık Yapılan Lehimleme Hataları

Hata Türü	Açıklama
Soğuk Lehim (cold joint)	Mat ve çatlak yüzey, kötü elektriksel temas
Aşırı Lehim	Fazla tel → kısa devre riski
Hata Türü	Açıklama
Yetersiz Isıtma	Lehim yüzeye yapışmaz, zayıf bağlantı oluşur
Pad Kopması	Uzun süre ısıya maruz kalan kart pad'i kalkabilir

Güvenlik ve İpuçları

- Lehimleme işlemi iyi havalandırılan ortamda yapılmalıdır (duman zararlıdır).
- Lehimleme sırasında gözlük ve eldiven kullanmak güvenlik sağlar.
- Kart üzerinde lehim yaparken diğer bileşenlere ısı yayılmaması için havya süresi kısa tutulmalıdır.
- Lehim noktalarını multimetre ile test etmek her zaman önerilir.
- Lehim sonrası kablolar sabitlenmeli, sallanır halde bırakılmamalıdır.

Not: Kaliteli bir lehim bağlantısı, dron sisteminin uzun ömürlü, güvenli ve stabil çalışması için temel gerekliliktir. Özellikle ESC, batarya ve sinyal bağlantılarında yapılan hatalı lehimlemeler, sistem arızalarına ve yangın riskine yol açabilir.

References

- Electronics Sector Skills Council of India. (2021). *Drone service technician (QP Code: ELE/Q7003, Version 2.0)*. National Skill Development Corporation.
- Electronics Sector Skills Council of India. (2021). *Model curriculum: Drone service technician (QP Code: ELE/Q7003, Version 2.0)*. National Skill Development Corporation.
- Electronics Sector Skills Council of India. (2023). *Assistant drone technician (QP Code: ELE/Q7004, Version 1.0)*. National Skill Development Corporation.
- Electronics Sector Skills Council of India. (2023). *Model curriculum: Assistant drone technician (QP Code: ELE/Q7004, Version 1.0)*. National Skill Development Corporation.
- Kiraz, A. F., Göl, O., & Sayat, H. E. (2019). *4 motorlu web kameralı bir minikopter tasarımı* (Lisans bitirme tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi.
- Ministry of Skill Development & Entrepreneurship, Directorate General of Training. (2021). *Drone technician: Competency-based curriculum (CTC), NSQF Level 4*. Government of India.
- TÜBİTAK BİLGEM. (2022). *Drone ve robotik yazılım birliği: Drone programlama ve simülasyon teknolojilerine genel bakış*. TÜBİTAK.
- AeroTract Geospatial. (2022). *Safety risk assessment for UAV operation: Safety hazard identification, assessment & mitigation guidelines*. AeroTract.
- Cedolin, R., Akyıldız, S., & Al, G. (2016). *İnsansız hava aracı (Drone)* (Lisans bitirme tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- Cedolin, R., Akyıldız, S., & Al, G. (2016). *İnsansız hava aracı (Drone)* (Lisans bitirme projesi, revize sürüm). İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.

BEŞİNCİ BÖLÜM

DOKÜMANTASYON ve İLETİŞİM

Yazarlar

Łukasz Korcz¹

Ewelina Zawielak²

Jozef Pacha³

¹Zespol Szkol Rolniczych, Poland, e-mail: lucas@po.home.pl<https://orcid.org/0009-0007-8811-5900>

²Zespol Szkol Rolniczych, Poland, e-mail: ewelinazawielak@poczta.fm<https://orcid.org/0009-0003-8441-906X>

³Zespol Szkol Rolniczych, Poland, e-mail: mjpacha@tlen.pl, <https://orcid.org/0009-0001-0438-6102>

BEŞİNCİ BÖLÜM

DOKÜMANTASYON VE İLETİŞİM

5.1. BAKIM KAYIT FORMLARI

İnsansız hava aracını (bundan sonra dron olarak anılacaktır) her kullanmadan önce, düzgün çalıştığından emin olun. Bu amaçla, dronun teknik durumu, servisi, onarımları ve bakımı hakkında ayrıntılı kayıtlar tutulması önerilir. Tasarımın karmaşıklığına, gerçekleştirilen görevlerin türüne, dronun boyutuna, taşınan malzemelere (tehlikeli maddeler ve maddeler dahil) ve bakımın yapıldığı yerlere ve kapsamına bağlı olarak, bu belgeler tek bir defterde veya birkaç ayrı kayıt defterinde tutulabilir.

Ulusal düzenlemeler izin veriyorsa, belgeler elektronik ortamda, örneğin bir bilgisayar programı veya mobil uygulama şeklinde de tutulabilir. Bu veriler, gerçekleştirilen onarım ve bakımların tam geçmişinin yanı sıra ilgili kaynaklar, malzemeler, ekipman ve personel hakkındaki bilgilerin yeniden oluşturulabilmesi için arşivlenmelidir (gerekirse yedeklemelerle birlikte).

İnsansız hava aracı kullanılacaksa, dronu kullanan personel, dronun teknik durumunu, tamamen, kısmen veya hiç çalışır durumda olup olmadığını belirleyebilmelidir. Dronun teknik durumunu belirten belgeler, dronun teknik durumunu belirlemek ve gerekli tüm periyodik bakımların programa göre yapıldığını ve dronun durumunun amaçlanan görevi yerine getirmesine izin verdiğini doğrulamak amacıyla hazırlanmıştır. Dronun teknik durumuna ilişkin belgeler, dronun güvenliğini ve işlevselliğini etkileyebilecek tüm yazılım güncellemeleri ve dron sistem yapılandırmaları hakkında da bilgi içermelidir.

Dron tamamen çalışır durumda ise, işletme personeli dronu kullanarak görevi yerine getirebilir. Dron çalışır durumda değilse, dron kullanılarak görevler yerine getirilemez. Ancak, dron kısmen çalışır durumda ise, personel dronun arızalarını ve sınırlamalarını bilmelidir (dronun arızalı bileşenlerinin ve kullanım sınırlamalarının bir listesi oluşturulabilir). Dronu uçuş için kullanırken, personelin dronun doğrudan teknik durumunu ve kullanılabilirliğini yansıtan

onarım ve bakım bilgilerine doğrudan erişimi olması gerektiği unutulmamalıdır. Spesifik bakım (performans, araç kullanımı, kaynaklar vb.) ile ilgili ayrıntılı bilgilerin uçuşları gerçekleştiren kişiye doğrudan sunulması gerekmez, ancak bu bilgiler arşivlenmeli ve gerektiğinde incelemeye hazır olmalıdır.

Doğru onarım ve bakım sürecini sağlamak için, İHA'nın hazır olmasını sağlamak üzere onarım ve bakımı gerçekleştirmek için gerekli planlama ve kaynaklar önceden hazırlanır. Raporlama belgeleri ise, gerçekleştirilen çalışmalar hakkında bilgi sağlar ve planlama sürecinin doğru bir şekilde yürütülmesini sağlar.

Planlama belgeleri, hizmet veya bakım faaliyetlerinin başlamasından önce oluşturulan belgeleri ifade eder. İHA'larla ilgili tüm görevleri planlamak, organize etmek ve hazırlamak için kullanılır. Planlama belgeleri, bir bakım programı ve İHA'ların düzenli denetim ve bakımı için bir plan içerir. Ayrıca, kaynak yönetimi planı, İHA'ları operasyonel hazırlık durumunda tutmak için gerekli insan, malzeme ve finansal kaynakların planlamasını kapsar. Planlama belgeleri, hizmetlerin sistematik ve etkili bir şekilde planlanmasını sağlar, yasal gerekliliklere uyumu garanti eder, kaynak tahsisine yardımcı olur ve riski en aza indirir. Bu belgeler, bakımın gerçekleştirilmesi için gerekli sıklığı, kapsamı ve gerekli kaynakları ve malzemeleri belirtmelidir. Görevlerin sorunsuz bir şekilde yürütülmesi için büyük önem taşıyan personel, ekipman ve bakım yerleri için gerekli süreyi belirlemek çok önemli bir faktördür. Burada finansal planlama ve tedarik çok önemlidir.

Periyodik dron bakım planlaması, ekipmanı iyi çalışma durumunda ve operasyonel hazırlıkta tutmak için gerekli olan düzenli bakım faaliyetlerini ifade eder. Planlama belgeleri, denetim türünü, gerçekleştirilme sıklığını ve işin kapsamını (ilgili kaynaklar dahil – insan gücü, araçlar ve malzemeler) belirtmelidir.

Bu belgeler şunları içerir:

- Teknik inceleme – günlük (her uçuştan önce dronun, pillerin, pervanelerin ve sensörlerin genel durumunun kontrol edilmesi);

- Uçuş sonrası (dronun görev sırasında hasar görmediğini ve tüm sistemlerin düzgün çalıştığını kontrol etmek);
- Belirli bir uçuş saati sayısından sonra bakım – belirli bir uçuş saati sayısından sonra üretici tarafından önerilen denetimler; bu denetimler, aşınmış parçaların değiştirilmesi, yazılım güncellemeleri, sensör kalibrasyonu ve diğer teknik faaliyetleri içerebilir;
- Yıllık inceleme – daha kapsamlı performans ve güvenlik testleri, önemli bileşenlerin değiştirilmesi ve yazılım güncellemeleri içerebilen daha ayrıntılı bir inceleme;
- Onarımlar – geçici (beklenmedik bir şekilde meydana gelmiş olabilecek arızaların veya hataların giderilmesi) ve olay sonrası (kazalar veya arızalardan kaynaklanan hasarların onarımı);
- Güncellemeler ve değişiklikler – yazılım güncellemeleri (işlevselliği, güvenliği veya yeni sistemlerle uyumluluğu iyileştirmek için en son yazılım güncellemelerinin yüklenmesi) ve donanım değişiklikleri (performansı, dayanıklılığı iyileştirmek veya yeni operasyonel gereksinimleri karşılamak için yeni bileşenlerin eklenmesi veya mevcut bileşenlerin değiştirilmesi).

Planlama belgeleri, hizmetlerin performansı, son hizmet/bakım tarihi ve bir sonraki hizmet/bakım tarihi hakkında bilgiler içermelidir.

Ayrı bir konu, dronların onarım ve bakımını gerçekleştiren kişilerin düzenli olarak eğitilmesidir. Bu eğitimler de planlanmalı ve uygun mali kaynaklar ayrılmalıdır. Planlama belgeleri, atölyelerin uygun şekilde yönetilmesini, servis ve bakım için malzeme ve sarf malzemelerinin planlanmasını ve atölye alanı ve personelinin katılımının planlanmasını sağlar.

Yürütme belgeleri, onarım ve bakım faaliyetlerinin uygulanması sırasında oluşturulan belgelerden oluşur. Bu belgeler, gerçekleştirilen fiili faaliyetleri kaydetmek için kullanılır. Yürütme belgeleri, hizmet raporlarını, gerçekleştirilen denetim ve onarımlarla ilgili ayrıntılı raporları, tarihleri, işin açıklamasını, listelenen kaynakları ve malzemeleri (parçalar dahil) ve ilgili personeli içerir. Operasyonel belgeler ayrıca onarım sonrası testler, test uçuşu sonuçları ve dronun daha sonraki çalışmasıyla ilgili yorumları da içermelidir. Operasyonel

belgeler, süreçlerin izlenmesini ve analizini mümkün kılan, prosedürlere ve düzenlemelere uygunluğu kanıtlayan ve sorunların tespitini ve düzeltici önlemlerin uygulanmasını kolaylaştıran gerçek faaliyetleri kaydeder.

Belgeler, İHA üzerinde gerçekleştirilen tüm servis, onarım ve bakım faaliyetlerinin doğru ve şeffaf kayıtlarını içermelidir. Belgelerde yer alan bilgiler şunları içermelidir: her bir servis, onarım veya bakım görevinin tam tamamlanma tarihi; gerçekleştirilen işin türünün ayrıntılı açıklaması (ör. periyodik denetim, hasar onarımı, parça değişimi, yazılım güncellemeleri) veya gerçekleştirilen işin kapsamını, kullanılan malzemeleri, kaynakları ve araçları belirten ilgili servis prosedürüne atıf; i katalog numaraları, miktar, değiştirme öncesi ve sonrası durumu dahil olmak üzere değiştirilen tüm parçalar, kaynaklar ve malzemeler hakkında bilgiler; servis ve onarım çalışmalarında yer alan personelin kimlik bilgileri; dron bileşenleri veya dron tarafından taşınan araçlar, malzemeler veya ekipmanlar bu tür akreditasyon ve sertifikaları gerektiriyorsa, uzman akreditasyon ve sertifikalarının alındığının teyidi; dronun doğru çalıştığının kontrol edilmesinden sonra onarım veya servisin tamamlanması (gerekirse). Arıza, bakımın yapılmaması vb. durumlarda, belgelerde dronun görevleri yerine getirmek için kullanılamayacağı veya yalnızca kısıtlamalarla kullanılabileceği açıkça belirtilmelidir. Onayın alınmaması uygun bilgilerle teyit edilmeli ve dronun kullanıma geri döndürülmesi de uygun bilgilerle onaylanmalıdır.

Belgelerde ayrıca arıza geçmişi, yapılan teşhis testleri, test sonuçları ve daha fazla bakım için teknik öneriler de yer almalıdır. Uygulama belgelerinde, kullanılan tüm sarf malzemeleri (ör. yağlayıcılar, sıvılar, filtreler) ve özel aletler ile bunların seri numaraları ve son kalibrasyon tarihleri yer almalıdır.

Ayrıca, maddelerin ve malzemelerin özellikleri, bunların nasıl kullanılacağı, sağlık ve güvenlik bilgileri, yangın güvenliği bilgileri vb. gerekli bilgileri içeren, maddeler ve malzemeler için güvenlik bilgi formları gibi özel maddeler için teknik belgelerin bulunması önerilir.

Faaliyetlerin tamamlanmasından sonra raporlama belgeleri, onarım ve bakım faaliyetlerinin tamamlanmasından sonra oluşturulan belgeleri ifade eder. Analiz, raporlama ve arşivleme için kullanılır.

Bu kategori, teknik durum raporlarını, dronların teknik durumunu değerlendiren ve gelecekteki bakım faaliyetleri için öneriler içeren periyodik raporları içerir. Belge arşivleme, düzenleyici gerekliliklere uygun olarak dronların çalıştırılması ve bakımı ile ilgili tüm belgelerin sistematik olarak saklanması içerir. Performans analizleri, bakım faaliyetlerinin etkinliğini analiz eden, optimizasyon için sonuçlar ve öneriler içeren raporlardır. Faaliyet sonrası belgeleme, faaliyetlerin geriye dönük analizini ve sonuçların çıkarılmasını sağlar, belge saklama ile ilgili yasal gerekliliklere uyumu garanti eder ve onarım ve bakım süreçlerinin sürekli iyileştirilmesine yardımcı olur. Raporlama belgeleri, yedek parça, malzeme ve materyal alımlarının planlanmasının yanı sıra atölye tesisleri ve personelinin görevlendirilmesini desteklemelidir.

Belgeleme verilerinin düzenli raporlanması ve analizi, lojistik ve operasyonel süreçlerin optimizasyonunu sağlar, bu da dron operasyonunun verimliliğini ve güvenliğini artırır. Bu belgeleme, tehlikeli maddelerin bertarafına ilişkin verileri de içermelidir.

Belgelerin şeffaflığını ve tutarlılığını sağlamak için, belgelerin kağıt veya elektronik ortamda (servis yazılımı, özel uygulamalar) yansıtılması önerilir.

Kayıt tutma şablonları – ör. günlük inceleme formları, onarım raporları, periyodik bakım formları. Formlar, veri girişini ve okunmasını kolaylaştırmak için standartlaştırılmış, şeffaf ve tek tip olmalıdır. Bu, hem bakım faaliyetlerinin belgelenmesini hem de faaliyetlerin daha sonra arşivlenmesini ve analizini kolaylaştırır.

Yetkilendirme prosedürleri – belgelerde, bakım veya onarımdan sonra dronun hizmete geri dönmesini onaylamaktan sorumlu kişiler açıkça belirtilmelidir. Onay şekli (imza, damga, elektronik yetkilendirme) ve kararın kayıtlara işlenme yöntemi belirtilmelidir.

Arıza sınıflandırma sistemi – arızaların aşağıdaki şekilde tek tip bir sınıflandırmaya tabi tutulması önerilir:

- Kritik – dronun kullanımını engelleyen,
- Önemli – görevlerin kapsamını sınırlayan,
- Küçük – uçuş güvenliğini etkilemeyen, ancak kaydedilmesi ve giderilmesi için planlama gerektiren.

Önemli bir unsur, Güvenlik Yönetim Sistemi (SMS) ile entegrasyondur – olayları analiz etmek, arıza eğilimlerini tespit etmek ve önleyici ve tedbirli önlemler uygulamak amacıyla belgeler SMS sistemine bağlanmalıdır.

Belgelerin saklama süresi – servis, onarım ve bakım ile ilgili belgelerin en az 5 yıl veya geçerli ulusal düzenlemelere uygun olarak saklanması önerilir. Belgeler, güvenlik, bütünlük ve tüm servis geçmişinin yeniden üretilebilme özelliği sağlanmak kaydıyla, kağıt veya elektronik ortamda saklanabilir.

İnsansız hava aracı (İHA) onarım ve bakım uzmanlarının çalıştığı teknik bir ortamda, teknik belgeler sadece bir kayıt işlevi görmekle kalmaz, her şeyden önce bir iletişim aracı olarak da hizmet eder. Bu belgeler, ekip üyeleri, amirler, müşteriler ve denetim otoriteleri arasındaki bilgilerinin etkili bir şekilde aktarılmasını sağlayan temel bir unsurdur. İyi tutulan belgeler, prosedürlere uyumu sağlar, iş kalitesinin değerlendirilmesini mümkün kılar, operasyonel güvenliği destekler ve denetimler ve sertifikasyon için bir temel oluşturur.

İHA teknik dokümantasyonu tek tip değildir – ayrı işlevlere sahip ve farklı yetkinlikler gerektiren birçok farklı formdan oluşur. Bu belgeler sadece gerçeklere uygun olmakla kalmayıp, aynı zamanda şeffaf, düzenli, eksiksiz ve karar vericiler için kolay erişilebilir olmalıdır. İHA mesleki standartları (OSE), kapsamlı operasyonel, bakım ve iletişim dokümantasyonuna olan ihtiyacı açıkça belirtir ve teknisyenlerin onarım ve karar verme süreçlerinde bu dokümantasyonu oluşturabilmelerini, analiz edebilmelerini ve kullanabilmelerini gerektirir.

5.1.1. Dokümantasyon Türleri

5.1.1.1. Operasyonel Belgeler

Bu kategori, İHA'ların devam eden operasyonları sırasında kullanılan belgeleri içerir. Bunlar başlıca şunlardır:

- Standart Operasyon Prosedürleri (SOP) – Denetimlerin, onarımların, testlerin ve diğer faaliyetlerin nasıl gerçekleştirileceğini adım adım açıklayan standartlaştırılmış operasyonel prosedürler.
- İş Emirleri (WO) – Belirli talimatlar, gerekli malzemelerin listesi, tamamlanma tarihleri ve sorumlu kişileri içeren iş emirleri.
- Kontrol Listeleri – Tüm aşamaların prosedüre uygun olarak gerçekleştirildiğinden emin olmak için uçuş öncesi ve sonrası kontrol listeleri.

Bunlar talimat ve koordinasyon belgeleridir – amaçları, tüm mürettebatın tek tip bir şekilde ve belirlenen standartlara uygun olarak çalışmasını sağlamaktır.

5.1.1.2. Teknik ve Bakım Belgeleri

Bu, İHA teşhis, onarım ve bakımı ile ilgili tüm belgeleri içerir:

- Bakım Kayıtları – Teknik faaliyetlerin, tarihlerin, yedek parçaların ve sorumlu kişilerin kaydedildiği bakım kayıtları.
- Onarım Raporları – Arızanın açıklaması, teşhis, alınan düzeltici önlemler ve nihai test sonuçlarını içeren ayrıntılı onarım raporları.
- Servis Bültenleri ve TSL (Teknik Servis Mektupları) – Örneğin, yeni bakım gereksinimleri veya tespit edilen üretim hataları ile ilgili İHA üreticilerinden gelen güncellemeler.

İHA teknisyenleri, bu tür belgeleri bağımsız olarak tutabilmeli, içeriğini analiz edebilmeli ve ileriye yönelik eylemler için önerilerde bulunabilmelidir.

5.1.1.3. Profesyonel İletişim Belgeleri

Bunlar, temel amacı ekip üyeleri arasında, müşteri ile veya denetim otoritesi ile bilgi aktarmak olan belgelerdir:

- Müşteri Raporları – Müşteriye sunulan, gerçekleştirilen hizmetlerin açıklamasını, İHA'nın durumunun değerlendirmesini ve operasyonel önerileri içeren nihai raporlar.

- Olay Raporları – Arızalar, olaylar, hatalar veya standart dışı durumların resmi raporları; İHA verileri, koşullar, düzeltici eylemler ve sorumlu kişiler içerir.

- E-posta İletişimi ve Notlar – E-postalar, teknik toplantı notları, brifing ve debriefing özetlerini içeren elektronik belgeler.

İletişim yetkinliği, bu tür belgeleri hazırlama ve bunların ekip çalışması ve dış iletişim bağlamındaki önemini anlama becerisini içerir.

5.1.1.4. Uçuş Operasyonları Belgeleri.

Bu grup şunları içerir:

- Uçuş Kayıtları – Tarih, konum, uçuş süresi, operatör verileri ve görev hedeflerini içeren uçuş kayıtları.

- Telemetri Raporları – UAV görevlerinden elde edilen telemetri verileri, çalışma parametrelerini analiz etmek ve hataları teşhis etmek için kullanılır.

- Uçuş İzni ve Düzenleyici Formlar – Uçuş izinlerinin alınması, rota planlaması ve EASA veya ulusal düzenlemelere uygunluk ile ilgili belgeler.

Teknisyenlerin sadece işletim prosedürlerine değil, aynı zamanda hava sahası düzenlemelerine de aşina olmaları gerekir; bu da yasalara uygunluğun uygun şekilde belgelendirilmesini gerektirir.

5.1.1.5. Kalite ve Değerlendirme Kayıtları

Bunlar, teknik faaliyetlerin iç değerlendirmesinde kullanılan belgelerdir:

- Denetim Kontrol Listeleri – İç ve dış denetimler için kullanılan kontrol listeleri.

- Önleyici Bakım Önerileri – Denetimler ve teknik analizlerden elde edilen sonuçlar, önleyici tedbirler önerileri.

- Sürekli İyileştirme Kayıtları – Prosedürlerin iyileştirilmesine yönelik gözlem ve fikirlerin toplandığı belgeler.

Bir İHA teknisyeni, toplanan verileri analiz edebilmeli, düzensizlikleri tespit edebilmeli ve organizasyonel veya teknolojik değişikliklerin gerekliliğini iletebilmelidir.

5.1.2. Belgelerin Bileşenleri

Yukarıda belirtilen belge türlerinin her biri, aşağıdakiler gibi bir dizi zorunlu bileşen içerir:

- Tarih, İHA adı, seri numarası içeren başlık,
- Belgeyi doldurmaktan veya doğrulamaktan sorumlu kişinin ayrıntıları,
- Faaliyet veya olayın açıklaması,
- Kullanılan malzeme ve araçların listesi,
- SOP veya WO'ya atıf,
- Yorumlar, öneriler, imza veya elektronik yetkilendirme.

Bu belgelerin eksiksizliği, şeffaflığı ve iç ve dış standartlara uygunluğu, İHA ekiplerinin etkili bir şekilde çalışması, yasal faaliyetleri, güvenliğini ve mesleki sorumluluğu için çok önemlidir.

İHA mesleki standartlarında, teknik dokümantasyon sadece faaliyetlerin kaydı olarak değil, aynı zamanda profesyonel iletişim için stratejik bir araç olarak sunulmaktadır. Uzmanlar arasında verimli bilgi alışverişine olanak tanır, operasyonların güvenliğini sağlar, mevzuata uygunluğu destekler ve teknik süreçlerin sürekli iyileştirilmesini sağlar. OSE'ye göre, bir İHA teknisyeni sadece kayıt tutabilmekle kalmamalı, aynı zamanda bunları analitik, koordinasyon ve danışmanlık aracı olarak da kullanabilmelidir. Bu yetkinlik, teknik beceriler, dilsel kesinlik ve mesleki sorumluluğu bir araya getirir ve bu nedenle tüm insansız havacılık sektörünün kalitesi ve güvenliği için çok önemlidir.

5.2. MEVZUATA UYGUNLUK BİLGİLERİ

Güvenlik düzenlemeleri ve uyumluluk gereklilikleri, dron (İHA) filo yönetiminin önemli bir unsurudur. Tüm operasyonların geçerli düzenlemelere uygun olarak yürütülmesini sağlamak, yüksek

güvenlik seviyesini korumak, mülkiyeti korumak ve yasal düzenlemelere uymak için gereklidir.

Tüm dron operasyonları, insansız hava araçlarını düzenleyen ulusal ve uluslararası düzenlemelere uymak zorundadır. Dünyanın birçok bölgesinde, ana düzenleyici kurumlar, dron operasyonları için düzenlemeler belirleyen Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı (EASA) ve Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık İdaresi (FAA) gibi kurumlardır. Bu düzenlemeler, dron kaydı, operatör lisanslama, hava sahası uçuş kuralları, teknik gereklilikler ve güvenlik ve gizlilik düzenlemeleri gibi çeşitli konuları kapsar.

Uluslararası düzenlemelere göre, belirli bir ağırlığın üzerindeki tüm dronlar ilgili ulusal kayıtlara kaydedilmelidir. Bu kayıt, operasyonların başlamasından önce gereklidir ve dronun sahipliğinde değişiklik, yükseltme veya hizmetten çıkarılması durumunda güncellenmelidir. Kayıt, dronun izlenebilirliğini sağlar ve düzenleyici denetimi kolaylaştırır.

Dron operatörleri, niteliklerini ve güvenli uçuş yapma becerilerini teyit eden uygun lisans ve sertifikalara sahip olmalıdır. Bu lisanslar, düzenli olarak yenilenmesi gereken hem teorik hem de pratik eğitimi içerir. Ekipmanın bakımından sorumlu personel, ekipmanı çalıştırma ve onarma niteliklerini ve becerilerini teyit eden uygun sertifikalara sahip olmalıdır.

Operatör lisanslama süreci teorik ve pratik eğitim, sınavlar ve düzenli lisans yenilemeyi içerir. Operatörler hava trafik düzenlemeleri, güvenlik kuralları, acil durum prosedürleri ve dron operasyonlarına ilişkin kısıtlamalar konusunda bilgi sahibi olmalıdır. Ayrıca, operatörler, özellikle dronlar kamera veya diğer izleme cihazlarıyla donatılmışsa, yerel gizlilik düzenlemeleri konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

Teknik bakım personeli düzenli olarak eğitim kurslarına katılmalı, sınavları geçmeli ve görevlerinde uzun bir ara vermeleri durumunda beceri ve niteliklerinin yeniden değerlendirilmesinden geçmelidir. Çoğu durumda, aynı personel hem teknik bakımı hem de onarım sonrası dron test uçuşlarını gerçekleştirmektedir ve bu da kapsamlı teknik ve operasyonel beceriler gerektirmektedir.

Bir dron tehlikeli maddeler veya özel ekipman taşıyorsa, hem güvenlik hem de sağlık hususlarını içerebilen ek düzenlemelere uyulmalıdır.

Dronları tasarlarken, satın alırken ve kullanırken, dronların uyması gereken teknik düzenlemelere uyulmalıdır. Dronlar, tasarım, navigasyon sistemleri, iletişim ve güvenlik sistemleri ile ilgili gerekliliklere uymalıdır. Dronların uçuşa elverişli kalmasını ve tüm teknik gereklilikleri karşılamasını sağlamak için düzenli teknik denetimler ve bakımlar gereklidir.

Dronlarda yapılan her türlü değişiklik veya yükseltme, ilgili düzenleyici makamlara bildirilmeli ve bu makamlar tarafından onaylanmalıdır. Operatörler ayrıca, denetim durumunda düzenlemelere uygunluğu kanıtlamak için her operasyon, inceleme ve onarımın ayrıntılı kayıtlarını tutmalıdır.

Görüntü kaydeden veya veri toplayan dronlar, gizlilik düzenlemelerine uygun olarak çalışmalıdır. Birçok ülkede, kişisel verilerin toplanması ve işlenmesine ilişkin özel düzenlemeler bulunmaktadır. Operatörler bu düzenlemelerin farkında olmalı ve operasyonlarının üçüncü şahısların gizliliğini ihlal etmediğinden emin olmalıdır.

Dronların işletimi ve bakımından sorumlu tüm kişiler, dronların işletimi ile ilgili güncel teknik belgelere ve geçerli düzenlemelere sürekli erişime sahip olmalıdır. Bu belgelerin düzenli olarak gözden geçirilmesi ve güncellenmesi, düzenlemelere uyumu ve operasyonel güvenliği sağlamak için çok önemlidir.

Kılavuzların ve operasyonel belgelerin, ulusal havacılık otoritelerinin geçerli yasalarına, teknik standartlarına ve kılavuzlarına açıkça atıfta bulunması önerilir. Belgeler ayrıca, olayları ve ihlalleri bildirme prosedürlerini ve ihlal durumunda operatörün yasal sorumluluğuna ilişkin kılavuzları da içermelidir.

Tüm düzenleyici güncellemelerin belgelere derhal dahil edilmesi ve personele iletilmesi de önemlidir.

5.3. ÜRETİCİ KILAVUZLARI

Üretici kılavuzları, insansız hava araçlarının (İHA) ve ekipmanlarının doğru çalışması, depolanması ve bakımı için temel oluşturur. Bu kılavuzlar, teknik testler, operasyonel deneyimler ve güvenlik gereklilikleri temelinde geliştirilmiştir. Ekipmanın güvenilirliğini sağlamak, arıza riskini en aza indirmek ve geçerli havacılık standartları ve düzenlemelerine uymak için bu kılavuzlara uyum esastır.

5.3.1. Üreticilerin Önerileri

Üreticinin önerileri aşağıdaki şekilde geliştirilmelidir:

- Teknik talimatlar – İHA'nın çalıştırma, depolama ve taşıma parametrelerine ilişkin ayrıntılı veriler içeren
- İşletim prosedürleri – Denetim, bakım ve onarımların nasıl gerçekleştirileceğini adım adım belirten,
- Veri sayfaları ve teknik özellikler – izin verilen değerleri (ör. sıcaklık, nem, pil voltajı, sarf malzemesi ömrü) belirten,
- Güncellemeler ve teknik bültenler (servis bültenleri) – Teknolojik gelişmeler veya operasyonel deneyimlerden kaynaklanan değişiklikleri tanıtan.

Talimatlar, orijinal dilde ve kullanıcının dilinde, basılı ve elektronik ortamda sunulmalıdır.

5.3.2. İHA Operatörlerinin Sorumlulukları

Üreticinin yönergelerine uyumu sağlamak için İHA operatörleri şunları yapmalıdır:

- Her uçuştan önce ve sonra belgelerde açıklanan prosedürleri izlemeli,
- Teknik faaliyetlerin kaydını İHA kayıt defterinde veya merkezi veritabanında tutmalıdır,
- Sadece üretici tarafından onaylanmış parçaları ve sarf malzemelerini kullanmak,

- Teknik ve operasyonel personeli en son talimatlar ve teknik bültenlere göre eğitmelidir,
- Yürütülen faaliyetlerin üreticinin belgelerine uygunluğunun doğrulanmasını da içeren bir kalite kontrol sistemi uygulamalı,
- Teknik talimatları düzenli olarak doğrulayın ve güncelleyin ve belgelerin yeni sürümlerinden kaynaklanan önerileri uygulayın. Depolama koşulları, depo ekipmanı (yani depoda kalıcı olarak bulunan, depo ekipmanı ve cihazları olarak adlandırılan şeyler) ve depolanan öğeler olarak ikiye ayrılabilir. Depo ekipmanının kendisi belirli gereksinimleri karşılamalıdır. Depo ve ekipmanı, malların depolanması için uygun koşulları sağlamalıdır.

Depolarda oluşturulan koşullar, sabit varlıkların (parçalar, dron ekipmanı), sınırlı ömürlü kaynakların ve malzemelerin (çalışma sıvıları) ve tehlikeli malzemelerin (piller, yağlayıcılar, silahlar vb.) depolanması için koşullar olarak ikiye ayrılabilir.

Depolama koşulları oluşturulurken, dronun amacı ve özel ekipmanlarıyla ilgili ihtiyaçların belirlenmesi gerekir.

Dronların (İHA'lar) ve bileşenlerinin depolama koşulları, uzun ömürlülüğünü, güvenilirliğini ve operasyonel güvenliğini sağlamak için çok önemlidir. Uygun depolama, hasar, korozyon ve diğer olumsuz çevresel etkilerin riskini en aza indirir. Depolama koşulları, tesisler ve depolanan mallar ile ilgili tüm üretici önerileri ve düzenlemelerine uygun olmalıdır. Bu, yetkisiz erişim, izleme ve bildirim sistemlerinden, malların teknik durumu, sağlık ve güvenlik düzenlemeleri, yangın güvenliği düzenlemeleri vb. ile ilgili üretici gerekliliklerine kadar bir dizi alanı kapsar.

Ekipmanların, bileşenlerin ve dronların kendilerinin depolama koşullarının belgelenmesi, ortamın gerçek durumunu belgelemek amacıyla yapılır. Bu belgeleme, günlük olarak güncellenen sıcaklık ve nem çizelgelerinden oluşur. Uygun koşulları sağlayan ekipmanların (ör. klimalar, nem alıcılar vb.) verimliliğini ve bakımını belgelemek de çok önemlidir. Belgeleme, ışık ve haşerelere karşı koruma ile ilgili referansları da içermelidir.

Sabit varlıkların bir dizi koşulu karşılaması gerektiği (örneğin rafların yeterli yük taşıma kapasitesine sahip olması vb.) ve hareketli varlıkların genellikle verimliliklerini teyit eden özel sertifikalara (vinçler, gezer vinçler vb.) ihtiyaç duyduğu unutulmamalıdır.

Akü odaları veya akü şarj noktaları, kullanılan akülerin türüne göre akü şarj noktaları veya akü odaları için geçerli olan gereklilikleri karşılamalıdır. Bu belgeler, tedarik edilen akülerin miktarının ve teknik durumunun belirlenmesi, periyodik denetimlerin yapılması ve prosedürlere uygun olarak aküler üzerinde yapılan çalışmaların kapsamının belirlenmesi için kullanılmalıdır.

Tehlikeli maddelerin depolanmasına ilişkin belgeler, üreticinin önerileri doğrultusunda her bir malzeme için depolama koşullarına uygun olmalıdır.

Dronların teknik durumunun raporlanması ve uygun bakım eylemlerinin önerilmesi, etkili insansız hava aracı (İHA) filosu yönetiminin temel unsurlarından biridir. Bu süreç, yüksek düzeyde güvenlik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ticari ve özel görevlerde özellikle önemli olan dronların operasyonel güvenilirliğini de etkiler.

Her dron, üretici tarafından belirlenen programa ve ilgili ülkede yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olarak düzenli denetimlerden ve teknik incelemelerden geçmelidir. Bu denetimler çeşitli inceleme türlerini içerir ve aşağıdaki belgelerde kayıt altına alınır:

- Uçuş öncesi inceleme belgeleri: Bu incelemeler, dronun görev için tam olarak çalışır durumda olduğundan emin olmak için her uçuştan önce gerçekleştirilir.
- Uçuş sonrası inceleme belgeleri: Bu incelemeler, herhangi bir hasar veya aşınma olup olmadığını belirlemek için operasyon sonrası dronun teknik durumunu değerlendirir.
- Periyodik inceleme belgeleri: Bu incelemeler, üreticinin önerdiği programa uygun olarak yapılan düzenli incelemelerdir ve sorunlar ciddi hale gelmeden tespit edilmesini sağlar.
- Özel denetim belgeleri: Olaylar veya arızalardan sonra gerçekleştirilen bu denetimler, dronun teknik durumunu

değerlendirir ve onarım veya anahtar bileşenlerin değiştirilmesi gerekip gerekmediğini belirler.

Bu denetimlerin her biri uygun şekilde belgelendirilmeli ve sonuçlar merkezi bir veritabanına veya dronun teknik günlüğüne kaydedilmelidir. Belgeler, dronun teknik durumunun yanı sıra tahrik sistemi, navigasyon sistemleri, piller, motorlar ve diğer önemli bileşenler gibi bireysel sistemlerin durumunu da açıkça yansıtmalıdır.

5.3.3. Teknik raporlar ve önemi

Teknik raporlar, dronun teknik durumunun değerlendirilmesi ve gelecekteki bakım faaliyetlerinin planlanması için temel oluşturur. Her teknik rapor şunları içermelidir:

- Dronun teknik durumunun açıklaması: Dronun mevcut durumu hakkında ayrıntılı bilgiler, tespit edilen arızalar, hasarlar veya bileşenlerdeki aşınma ve yıpranma belirtileri dahil.
- Bakım günlüğü: Temizlik, yağlama, sistem kalibrasyonu, parça değişimi veya onarımlar gibi gerçekleştirilen bakım faaliyetleri hakkında bilgiler.
- İleriye yönelik eylem önerileri: Teknikerler, denetimlerin ve teknik raporların sonuçlarına dayanarak, dronun güvenli çalışmasını sağlamak için gerçekleştirilmesi gereken gelecekteki bakım veya onarımları önerebilir.

5.3.4. Bakım ve tedarik planlaması

Teknik raporlar, bakım planlaması ve yedek parça ve sarf malzemelerinin tedarik lojistiği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıntılı raporlar şunları yapmanızı sağlar:

- Personel katılımını planlayın: Gerekli bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek için teknisyenler ve operatörler için çalışma programlarını önceden hazırlayın.
- Tedarik planlaması: Raporlara dayanarak, pil, motor, filtre veya diğer önemli bileşenler gibi gerekli yedek parçaları sipariş edebilir ve operasyonel kesinti riskini en aza indirebilirsiniz.

- Atölye operasyonlarını optimize etme: İyi yönetilen belgeler ve raporlar, atölye kaynaklarının daha iyi yönetilmesini sağlayarak tüm onarım ve bakımların zamanında ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

5.3.5. Yasal uyumluluk için raporlamanın önemi

Dron durumunun doğru bir şekilde raporlanması ve tüm bakım faaliyetlerinin belgelenmesi, sadece operasyonel hazırlığı sürdürmek için değil, aynı zamanda yasal uyumluluk açısından da çok önemlidir. Birçok ülkede, düzenli denetim, onarım ve bakım faaliyetlerinin raporlanması yasal bir zorunluluktur ve bu kurallara uyulmaması, kaza durumunda lisans kaybı veya yasal sorumluluk gibi ciddi sonuçlara yol açabilir.

Teknik raporların arşivlenmesi şunları sağlar:

- Dronun teknik geçmişinin izlenmesi.
- Denetim veya teftiş durumunda gerekli belgelerin denetim otoriteleriyle paylaşılması.
- Yerel ve uluslararası havacılık güvenliği düzenlemelerine tam uyumun sağlanması.

Özetle, dronların teknik durumu hakkında düzenli raporlama ve bakım faaliyetleri önerileri, İHA filo yönetiminin temel unsurlarıdır. Bunlar, yüksek düzeyde güvenlik sağlamanıza, arıza riskini en aza indirmenize ve teknik operasyonların lojistiğini optimize etmenize olanak tanır.

Üreticilerin teknik belgelerinde, dronların ve bileşenlerinin taşınması, farklı iklim bölgelerindeki saklama koşulları ve sarf malzemelerinin maksimum saklama süreleri hakkında ayrıntılı kılavuzlar bulunması önerilir. Üreticinin talimatlarında ayrıca standartlardan sapmalarla (ör. nem, sıcaklık aşımı, pil kapasitesi kaybı) başa çıkma prosedürleri bulunmalı ve hangi bileşenlerin derhal hizmetten çekilmesi gerektiği belirtilmelidir. Bu kılavuzlar üreticiler tarafından düzenli olarak güncellenmeli ve doğrulanmalıdır.

5.4. YEDEK PARÇA LİSTELERİ

Yedek parçaların ve envanterin etkin yönetimi, bir dron (İHA) filosunun operasyonel sürekliliğini korumada kilit bir unsurdur. Düzgün bir şekilde tutulan yedek parça kayıtları, bileşenlerin doğru zamanda kullanılabilir olmasını sağlar, operasyonel kesinti riskini en aza indirir, mevzuata uygunluğu destekler ve işletme maliyetlerinin kontrolünü mümkün kılar. Yedek parça belgeleri, bakım süreçlerinin tutarlılığını ve şeffaflığını sağlamak için envanter yönetim sistemi ve dronların teknik belgeleriyle bağlantılı olmalıdır.

İnsansız hava aracı (İHA) yönetimi bağlamında envanter, etkili kaynak yönetimi, maliyet kontrolü ve mevzuata uygunluğun sağlanmasında kilit bir unsurdur. Bu süreci, dron operasyonlarıyla ilgili tüm fiziksel kaynakların tanımlanmasını, kaydedilmesini, izlenmesini ve kontrol edilmesini içerir. Mülkiyet envanterinin ayrıntılı açıklaması aşağıda verilmiştir:

Varlık kaydı, dron operasyonlarıyla ilgili tüm varlıkların tanımlanmasına olanak tanır. Bu varlıklar şunları içerir:

- Seri numarası, modeli, satın alma tarihi ve teknik özellikleri dahil olmak üzere her bir insansız hava aracı.
- Dronlarda kullanılan tüm yedek parçalar, aksesuarlar, piller, sensörler ve ek ekipmanlar.
- Dron bakımı ve onarımı için kullanılan özel aletler ve ekipmanlar.
- Atölyeler, depolar, şarj istasyonları ve dron operasyonlarıyla ilgili diğer mülkler.

Tanımlanan her varlık, envanter yönetim sistemine kaydedilmelidir. Oda (tesis) varlıkları ile depolanan mülk varlıklarının kayıtları arasında ayırım yapılmalıdır. Varlık kaydı şunları içerir:

- Kolay takip ve yönetim için her varlığa benzersiz bir kimlik numarası atanır. Bu numaranın üreticinin numarası veya barkoduyla bağlantılı olması en iyisidir.
- Teknik özellikleri, üreticisi, modeli, seri numarası, satın alma tarihi ve değeri dahil olmak üzere kaynağın ayrıntılı açıklaması.

- Varlığın depolandığı veya kullanıldığı yer, bu da varlığın konumunun ve kontrolünün kolaylaştırılmasını sağlar.
- Varlığın mevcut teknik durumu, yani depolama kategorisi (ör. yeni, kullanılmış, onarımda) ve durumu (ör. kullanılabilir, rezerve edilmiş, hizmetten çekilmiş).

Varlıkların durumunun düzenli olarak izlenmesi ve depo sistemindeki verilerin güncellenmesi, varlıkların doğruluğunu ve güncelliğini korumak için çok önemlidir. Bu belgeler şunları mümkün kılmalıdır:

- Varlıkların durumunu, konumunu ve kayıtlardaki bilgilere uygunluğunu doğrulamak için varlıkların kontrolü ve incelenmesi.
- taşınma, onarım, değişiklik veya hizmetten çekilme gibi değişiklikler durumunda varlık verilerinin güncellenmesi.
- yaşam döngüsünün izlenmesi - varlıkların satın alınmasından kullanımına, hizmetten çıkarılmasına ve imhasına kadar yaşam döngüsünün izlenmesi.
- Dronların operasyonel sürekliliğini sağlamak için yedek parça ve sarf malzemesi stoklarının kontrol edilmesi.

Etkili yedek parça yönetimi, sadece kayıt tutmayı değil, aynı zamanda uygun kağıt veya elektronik formlarda talep gönderme konusunda net prosedürler uygulamayı da gerektirir. Bu süreç iki modda organize edilmelidir:

Mevcut (reaktif) mod. Hasarlı veya aşınmış bir bileşenin derhal değiştirilmesi gerektiğinde, bu bileşenin yokluğu insansız hava aracının daha fazla çalışmasını engellediğinde acil durumlarda kullanılır. Talepler, inceleme raporları, geçici onarımlar veya olaylar temelinde sunulur. Belgeler şunları içermelidir: arızanın açıklaması, gerekli parçanın belirtilmesi, katalog numarası, talebin aciliyeti ve talebin sorumlusu. Bu mod, İHA'nın operasyonel hazırlığının hızlı bir şekilde geri kazanılmasını sağlar, ancak daha yüksek maliyet riski içerir (örneğin, acil satın alma, fiyat optimizasyonunun olmaması).

Planlama modu (proaktif). Periyodik bakım programları, üretici önerileri ve parça aşınmasına ilişkin geçmiş verilere dayanır.

Planlanan gereksinimler önceden sunulur, bu da bunların bütçeye dahil edilmesini, teslimatların optimize edilmesini ve depolama maliyetlerinin azaltılmasını sağlar. Planlama belgelerinde şunlar belirtilmelidir: parça türü, beklenen değiştirme tarihi, miktar ve depolama yeri. Bu mod, arıza süresi riskini en aza indirir ve lojistik süreçlerin öngörülebilirliğini artırır.

En iyi sonuçlar, sarf malzemeleri ve tipik sarf malzemeleri için planlama ile acil talep prosedürlerini sürdürme yaklaşımlarının birleştirilmesiyle elde edilir.

Belgelerde şunlar açıkça belirtilmelidir: talebi kim sunar (ör. servis teknisyeni, atölye müdürü), nasıl onaylanır (yetkilendirme, imza, elektronik sistem), nereye gönderilir (lojistik departmanı, depo, doğrudan tedarikçiye) ve ne zaman yerine getirilmelidir.

İdeal depo sistemi, taleplerin iletilmesine izin vermekle kalmayıp, aynı zamanda siparişleri otomatik olarak oluşturur, stok seviyelerini kontrol eder ve hem planlı bir şekilde hem de geçici ihtiyaçlara yanıt olarak eksiklikleri sürekli olarak tamamlar. Hizmet programları, hizmet döngüleri ve İHA operasyonlarının öngörülen yoğunluğuna dayalı satın alma planlamasının yanı sıra, parça, aksesuar, alet ve sarf malzemelerinin stok seviyelerinin sürekli izlenmesi ile gerçek zamanlı stok yönetimi de içermelidir. Önemli bir unsur, mevcut talepleri, yani ani arıza veya parçaların acil olarak değiştirilmesi gibi acil durumlarda ortaya çıkan ihtiyaçları anında karşılama yeteneğidir. Sistem, İHA bakım belgeleriyle entegre olmalı ve onarım, bakım ve inceleme kayıtlarına dayalı olarak bakım için gerekli parça listelerini otomatik olarak oluşturmalıdır. Sistemin ayrılmaz bir parçası, parça seri numaraları, satın alma tarihleri, garanti süreleri, raf ömürleri, yani malzemelerin eskimesi nedeniyle sınırlı kullanılabilirlikleri ile ilgili veriler ve kullanımlarının tam kaydı dahil olmak üzere satın alma ve tüketim geçmişinin tutulmasıdır. Bu, kaynak rotasyon planlamasına olanak tanır, süresi dolmuş parçaların kullanımını önler ve raf ömürlerinin dolmasından kaynaklanan kayıpları en aza indirir. Depo sistemi ayrıca, siparişleri onaylamaktan ve parçaları stoğa kabul etmekten sorumlu kişileri açıkça tanımlayan yetkilendirme mekanizmalarına sahip olmalı ve bütçe kontrolü, fon ayırma ve İHA filosunun bakımıyla ilgili maliyetlerin raporlanmasını sağlayan bir

finansal sisteme bağlı olmalıdır. Bu, yedek parçaların dolaşımı üzerinde tam kontrol sağlar, stok eksikliği riskini en aza indirir, acil durumlarda müdahale sürelerini kısaltır, etkili harcama planlaması yapmayı mümkün kılar ve insansız hava araçlarının teknik ve yasal gerekliliklere uygun, güvenli ve ekonomik bir şekilde çalıştırılmasını garanti eder.

5.5. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KURALLARI

İş sağlığı ve güvenliği (OHS) kuralları ve yasal uyum gereklilikleri, insansız hava aracı (İHA) filosu yönetiminin temelini oluşturur. Bu kurallar, operatörlerin ve çevredeki kişilerin sağlığını ve hayatını korumak, mülkiyeti ve çevreyi güvence altına almak için tasarlanmıştır. Operatörlerin ve teknik personelin sorumlulukları ile İHA'ların güvenli çalışmasını destekleyen belgeleme ve altyapı gereklilikleri açıkça tanımlanmalı ve tüm personel tarafından bilinmelidir.

Tüm dron operasyonları, insansız hava araçlarını düzenleyen ulusal ve uluslararası düzenlemelere uymak zorundadır. Dünyanın birçok bölgesinde, dron operasyonları için düzenlemeler belirleyen başlıca düzenleyici kurumlar, Avrupa'da Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı (EASA) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde Federal Havacılık İdaresi (FAA) gibi kurumlardır. Bu düzenlemeler, dron kaydı, operatör lisanslama, hava sahası uçuş kuralları, teknik gereklilikler ve güvenlik ve gizlilik düzenlemeleri gibi çeşitli konuları kapsamaktadır.

Uluslararası düzenlemelere göre, belirli bir ağırlığın üzerindeki tüm dronlar ilgili ulusal kayıtlara kaydedilmelidir. Bu kayıt, operasyonların başlamasından önce gereklidir ve dronun sahipliğinde değişiklik, yükseltme veya hizmetten çıkarılması durumunda güncellenmelidir. Kayıt, dronun izlenebilirliğini sağlar ve düzenleyici denetimi kolaylaştırır.

İHA'ları işleten her kuruluş, yasalardaki değişiklikleri izleyen ve prosedürleri güncelleyen, düzenlemelere uyumdan sorumlu bir kişiye (Uyum Müdürü) sahip olmalıdır.

Dron operatörleri, niteliklerini ve güvenli uçuş yapma becerilerini teyit eden uygun lisans ve sertifikalara sahip olmalıdır. Bu lisanslar,

düzenli olarak yenilenmesi gereken hem teorik hem de pratik eğitimi içerir. Ekipmanın bakımından sorumlu personel, ekipmanı çalıştırma ve onarma niteliklerini ve becerilerini teyit eden uygun sertifikalara sahip olmalıdır.

Operatörler, İHA kullanımı, saha çalışması ve acil durum müdahalesi konusunda düzenli sağlık ve güvenlik eğitimi almalıdır. Görevlerde uzun bir ara verilmesi durumunda, yeniden sertifikalandırma gereklidir.

Dronları tasarlarırken, satın alırken ve kullanırken, dronların uyması gereken teknik düzenlemelere uyulmalıdır. Dronlar, tasarım, navigasyon sistemleri, iletişim ve güvenlik sistemleri ile ilgili gerekliliklere uymalıdır. Dronların uçmaya elverişli kalmasını ve tüm teknik gereklilikleri karşılamasını sağlamak için düzenli teknik denetimler ve bakımlar gereklidir.

Bir dron tehlikeli maddeler veya özel ekipman taşıyorsa, hem güvenlik hem de sağlık hususlarını içerebilecek ek düzenlemelere uyulmalıdır.

Dronlarda yapılan her türlü değişiklik veya yükseltme, ilgili düzenleyici makamlara bildirilmeli ve bu makamlar tarafından onaylanmalıdır. Operatörler ayrıca, denetim durumunda düzenlemelere uygunluğu kanıtlamak için her operasyon, inceleme ve onarımın ayrıntılı kayıtlarını tutmalıdır.

İHA'ları çalıştırmak için kullanılan ölçüm ekipmanlarının (ör. pil test cihazları, teşhis istasyonları) yasallaştırılması ve kalibrasyonu ile ilgili kayıtlar tutulmalıdır. Raf ömrü olan dron bileşenlerinin (ör. piller, jiroskoplar, piroteknik bileşenler) son kullanma tarihleri kontrol edilmelidir.

Görüntü kaydeden veya veri toplayan dronlar, gizlilik düzenlemelerine uygun olarak çalışmalıdır. Birçok ülkede, kişisel verilerin toplanması ve işlenmesine ilişkin özel düzenlemeler bulunmaktadır. Operatörler bu düzenlemelerin farkında olmalı ve faaliyetlerinin üçüncü şahısların gizliliğini ihlal etmediğinden emin olmalıdır.

İHA'lar tarafından kaydedilen materyaller için veri anonimleştirme prosedürleri (örneğin yüzlerin, plakaların bulanıklaştırılması) gereklidir. Veriler, yedekleme ve erişim kontrolü olan bir sistemde güvence altına alınmalıdır.

Dron (İHA) uçuşlarının doğru bir şekilde kaydedilmesi, güvenliği sağlamak, yasal düzenlemelere uymak ve dronların teknik durumunu izlemek için çok önemlidir. Her uçuş, geriye dönük analiz, ekipman aşınma ve yıpranmasının izlenmesi ve teknik sorunların tespit edilmesi için bir uçuş günlüğüne kaydedilmelidir .

Tamamlanan uçuşların kayıtları aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Uçuş tarihi ve saati: Uçuşun başlangıç ve bitiş tarihini ve tam saatini kaydedin.
- Dron operatörü: Görev sırasında dronu kontrol etmekten sorumlu kişinin ayrıntıları.
- Dron modeli ve seri numarası: Kullanılan ekipmanın kimliği.
- Uçuş süresi: Dronun havada toplam çalışma süresi.
- Uçuş rotası ve irtifa: Uçuş rotası, irtifa ve görev sırasında meydana gelen değişiklikler hakkında bilgiler.
- Görev hedefleri: Uçuş sırasında gerçekleştirilen görevlerin kısa açıklaması (ör. izleme, çekim, inceleme vb.).
- Hava koşulları: Uçuşu etkileyebilecek mevcut hava koşulları hakkında bilgiler.
- Teknik sorunlar: Uçuş sırasında karşılaşılan arızalar veya sorunlar, örneğin iletişim kaybı, sistem arızası, navigasyon kısıtlamaları.

Uçuş günlüğü, dronun teknik durumunu analiz etmek ve bakım planlaması yapmak için temel bir araç görevi görür. Bu veriler, bileşen aşınması, pil ömrü ve düzenli inceleme gerektiren diğer unsurların değerlendirilmesine olanak tanır. Belgeler en az 5 yıl boyunca dijital olarak arşivlenmeli ve görev planlama ve bakım modülüyle entegre edilmelidir.

Birçok ülkede, dron operatörlerinin üçüncü şahıslara veya mülklere zarar verilmesi durumunda sivil sorumluluk sigortası yaptırmaları zorunludur. Bu sigorta, ticari uçuşlar veya nüfuslu alanlar üzerinde yapılan uçuşlar için özellikle önemlidir.

İHA'ları işleten kuruluşların, kayıp veya hasara karşı ekipman sigortası yaptırmaları da önerilir.

İHA operatörleri, elektrik kesintisi, iletişim kaybı, acil iniş, lityum iyon pil yangını, çarpışma veya İHA'ya zarar verme gibi acil durum prosedürlerini bilmeli ve uygulamalıdır.

Her olay bir Olay Raporuna kaydedilmelidir. İşveren ve İHA'nın işletilmesinden sorumlu kuruluş, çalışanlara kişisel koruyucu ekipman (örneğin güvenlik gözlükleri, antistatik eldivenler) sağlamak, periyodik eğitimler düzenlemek, sağlık ve güvenlik yönetmeliklerine uyumu denetlemek ve bir Güvenlik Yönetim Sistemi (SMS) uygulamakla yükümlüdür.

5.6. SOP'LER VE WO'LAR

Standart çalışma prosedürleri (SOP) ve iş emirleri (WO), bir dron (İHA) filosunun operasyon ve bakımının etkili yönetiminin temelini oluşturur. Bunlar düzen sağlar, faaliyetleri sistematik hale getirir ve görev hazırlığından teknik desteğe kadar tüm süreçlerin kabul edilmiş standartlara ve yasal düzenlemelere uygun olarak yürütülmesini sağlar. SOP'ler belirli bir görevin "nasıl" gerçekleştirilmesi gerektiğini tanımlarken, WO'lar "ne"nin, kim tarafından ve ne zaman yapılacağını belirtir. Birlikte, güvenlik, yüksek kaliteli operasyonlar ve süreçlerin tam olarak belgelenmesini sağlayan entegre bir sistem oluştururlar.

5.6.1. Standart çalışma prosedürleri (SOP'ler)

Bunlar, dron filosu yönetiminin (İHA) önemli bir unsurudur. SOP'lar, dron operasyonunun çeşitli yönleri için ayrıntılı, adım adım kılavuzlar oluşturarak operasyonların tutarlılığını, güvenliğini ve verimliliğini sağlar. SOP'lar sayesinde kuruluşlar, operasyonel hata riskini en aza indirebilir ve yasal düzenlemelere uyumu sağlayabilir.

Dron kullanan her kuruluş, operasyonlarının özelliklerine uygun ve geçerli düzenlemelere uygun SOP'lar geliştirmeli ve uygulamalıdır. Bu süreç, risk analizi, kritik görevlerin belirlenmesi ve standart

prosedürlerin tanımlanmasını içerir. SOP'lar, teknolojik, düzenleyici ve operasyonel değişikliklere yanıt olarak düzenli olarak gözden geçirilmeli ve güncellenmelidir.

SOP'lar ayrıca, iletişim kaybı, teknik sorunlar veya dron sistemi arızaları gibi kriz durumlarında alınacak önlemleri belirten acil durum prosedürlerini de içermelidir.

5.6.1.1. Uçuş Öncesi Prosedürler

Uçuş öncesi prosedürler iki kategoriye ayrılabilir: dronu uçuşa hazırlamak ve personeli uçuşa hazırlamak. Bu iki kategori de dronun tam olarak çalışır durumda ve güvenli uçuşa hazır olmasını sağlamak için çok önemlidir. SOP'lar şunları içermelidir:

- Dronun teknik durumunun incelenmesi, pil şarjı kontrolleri, navigasyon ve iletişim sistemi testleri ve fiziksel durum kontrolleri (ör. mekanik hasar, kirlenme vb.) ile ilgili ayrıntılı kontrol listeleri.
- Personel hazırlığı, hava koşulları, uçuş kısıtlama bölgeleri ve görev hedeflerini dikkate alarak uçuş planının gözden geçirilmesi ve onaylanmasını içerir. Operatörler ayrıca, ilgili hava sahasında geçerli olan güvenlik prosedürleri ve havacılık düzenlemeleri hakkında bir briefing almalıdır. Operatörler, koşulların değişmesi durumunda alternatif planlar da hazırlamalıdır.

Genellikle, operatörler için uçuş öncesi briefing düzenlenir, yani operasyon ekibi bir araya gelerek görevin ayrıntılarını tartışır, olası riskleri belirler ve rol ve sorumlulukları dağıtır. Briefing, arşivleme ve gelecekteki analizler için rapor şeklinde kaydedilebilir veya belgelenebilir.

5.6.1.2. Uçuş sonrası prosedürler

Uçuş sonrası prosedürler, dronun uygun şekilde emniyete alınmasını ve sonraki görevler için hazırlanmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. SOP, herhangi bir hasar veya aşınma ve yıpranmayı tespit etmek için dronun uçuş sonrası muayenesinin kapsamını, pil şarj durumunun kontrol edilmesini ve sonuçların uçuş günlüğüne kaydedilmesini içerir.

Drona uçuş veri kaydedici yoksa, uçuş süresi, rota, ulaşılan hedefler ve karşılaşılan sorunlar dahil olmak üzere uçuşla ilgili verilerin kaydedileceği manuel bir belge tutulmalıdır. Bu belge, operasyonun etkinliğini analiz etmek ve olası teknik sorunları tespit etmek için gereklidir.

Görev süreci, karşılaşılan sorunlar ve gelecekteki operasyonların etkinliğini artıracak sonuçların analiz edildiği debriefing toplantılarının kayıtları da tutulabilir.

5.6.1.3. Standart Çalışma Prosedürlerinin İşlevi

SOP'lar, çeşitli görevleri yerine getirmek için standart yöntemleri tanımlamalıdır, örneğin:

- Arazi koşulları ve teknik gereklilikleri dikkate alan güvenli kalkış ve iniş prosedürleri.
- Navigasyon prosedürleri ve operasyon merkeziyle iletişimin sürdürülmesi, dronun konumu ve durumunun düzenli olarak raporlanması dahil.
- Teknik arızalar, iletişim kaybı, çarpışmalar veya diğer acil durumlarla başa çıkmak için standart prosedürler.
- Operasyonel risklerin düzenli olarak değerlendirilmesi, potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve analizi ve bunları en aza indirmek için stratejiler geliştirilmesi dahil olmak üzere, güvenli dron operasyonlarını sağlayan güvenlik prosedürleri.

SOP'lar ayrıca operatörler ve bakım personeli tarafından kişisel koruyucu ekipman (PPE) kullanımına ilişkin kuralları da içermelidir.

Yüksek düzeyde güvenlik ve operasyonel verimliliği korumak için, SOP'lar düzenli olarak güncellenen "canlı" belgeler olarak ele alınmalıdır. Bu belgelerin en az yılda bir kez veya yeni teknolojiler tanıtıldığında, düzenlemeler değiştiğinde veya operasyonel olaylar meydana geldiğinde gözden geçirilmesi önerilir. Bir diğer önemli unsur, belgelerin yönetilme şeklidir – prosedürler, açıkça tanımlanmış bir dağıtım ve arşivleme yöntemiyle hem kağıt hem de elektronik ortamda mevcut olmalıdır. SOP'lar ayrıca güvenlik yönetim sistemi (SMS) ile entegre edilmelidir, böylece her prosedür risk analizi, olay

izleme ve raporlardan çıkarılan sonuçlarla bağlantılı hale gelir. Ayrıca, tüm prosedürlerin sorumluluk belirtisini içermesi de gereklidir – belirli faaliyetleri kimin gerçekleştirdiği ve kimin onayladığı. Bu şekilde, SOP'lar sadece çalışma talimatları değil, aynı zamanda güvenlik ve organizasyonel düzen kültürü oluşturmak için bir araç haline gelir.

5.6.2. İş emirleri (WO)

WO'lar, dron (İHA) operasyonları ve bakım yönetiminin önemli bir unsurudur. İş emirleri, planlanan denetimler, bakım, onarımlar ve diğer operasyonel görevlere yanıt olarak oluşturulur.

İş emirleri oluşturma süreci, bakım programı, denetim sonuçları, bildirilen arızalar veya planlanan operasyonlardan kaynaklanabilecek bir görevin gerçekleştirilmesi ihtiyacının belirlenmesi ile başlar. Bu emirler, önceki operasyonlar ve onarımlarla ilgili raporlardaki öneriler sonucunda da ortaya çıkabilir.

5.6.2.1. WO İçeriği

Bir iş emri aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Görev tanımlama: Benzersiz iş emri numarası, düzenleme tarihi ve dron kimliği (seri numarası, model).
- İşin kapsamı, amacı ve gerekli eylemler dahil olmak üzere, gerçekleştirecek görevin ayrıntılı açıklaması.
- Görevin planlanan başlangıç ve bitiş tarihi ve saati.
- Gerekli insan kaynakları (operatörler, teknisyenler), malzemeler (yedek parçalar, aletler, sarf malzemeleri) ve lojistik destek.
- İlgili standart çalışma prosedürleri (SOP) ve teknik talimatlara atıf.

İş emri oluşturulduktan sonra, görev uygun teknisyenlere veya servis ekiplerine atanır. Görev ataması, personel nitelikleri ve sertifikaları, kaynakların kullanılabilirliği ve görev önceliği dikkate alınarak yapılır. Atanan her çalışan, iş emrinin bir kopyasını ve gerekli tüm talimatları ve malzemeleri almalıdır.

5.6.2.2. İş emrinin yürütülmesi

Personel, belirtilen prosedürlere ve standartlara uygun olarak iş emrini yürütmeye başlar. Görevi yerine getirirken uzmanlar:

- İşin ilerleyişini kaydeder, gerçekleştirilen faaliyetleri, kullanılan malzemeleri, değiştirilen parçaları ve karşılaşılan sorunları belgeler.
- SOP'lara uyar: Tüm faaliyetlerin geçerli standart çalışma prosedürlerine uygun olmasını sağlar.
- Süpervizörlerle iletişim kurar: Çalışmanın ilerleyişi ve ek kararlar veya kaynaklar gerektirebilecek sorunlar hakkında süpervizörlerini düzenli olarak bilgilendirir.

İş emirleri, görev bildirildiği andan itibaren, yürütülmesinden kapanışına ve arşivlenmesine kadar yaşam döngüsünün tam olarak izlenebilmesini sağlayacak şekilde oluşturulmalı ve yürütülmelidir. Her iş emri, görevin açık bir tanımını, sorumlu kişilerin ayrıntılarını ve görevi gerçekleştiren ve onaylayan kişilerin imzalarını (kağıt veya dijital) içermelidir.

Belgeler, depo yönetimi ile entegrasyona olanak sağlayacak şekilde saklanmalıdır – iş emirleri, yedek parça, sarf malzemesi veya alet taleplerini otomatik olarak oluşturabilir. Görevlerin tamamlanmasının ardından yapılan değerlendirme toplantılarından elde edilen sonuçların belgelenmesi de önemli bir unsurdur – operasyonların gidişatını ve sorunları analiz etmek, yalnızca gelecekteki görevlerin iyileştirilmesine değil, aynı zamanda SOP'lerin de geliştirilmesine olanak sağlar. Tamamlanan WO'ların düzenli olarak arşivlenmesi ve analizi, eğilimlerin belirlenmesi, bakım faaliyetlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi ve organizasyonel iyileştirmelerin uygulanmasını sağlar, bu da doğrudan İHA filosunun güvenliği ve güvenilirliğinin artmasına yol açar.

5.6.2.3. Kalite Kontrol Denetimleri

Çalışma tamamlandıktan sonra, süpervizör veya görevlendirilen denetçi, gerçekleştirilen görevlerin kalite kontrolünü yapar. Bu kontrol şunları içerir:

- Tüm faaliyetlerin iş emri ve geçerli prosedürlere uygun olarak gerçekleştirildiğini doğrulamak.
- Dronun tamamen çalışır durumda ve kullanıma hazır olduğunu doğrulamak için işlevsel testler yapmak.
- İş emri yönetim sisteminde görevin tamamlandığını onaylamak ve dronun teknik belgelerini güncellemek.
- İş emrini ve ilgili belgeleri arşivlemek ve analiz etmek. Arşivlenen iş emirlerinin düzenli olarak analiz edilmesi, eğilimlerin belirlenmesi, bakım faaliyetlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi ve operasyonel süreçlerin optimize edilmesini sağlar.

Kuruluşlar, düzenlemelere ve prosedürlere uyumu sağlamak ve yönetim süreçlerini iyileştirmek için iş emirlerini düzenli olarak iç incelemelere ve denetimlere tabi tutmalıdır. Bu denetimler, belgelerin incelenmesini, teknisyenlerin performansının değerlendirilmesini ve kaynak yönetiminin etkinliğinin analizini içerebilir.

5.7. SORUMLULUK (SİGORTA, KAZA RAPORLAMA)

Dron olaylarını ve kazalarını bildirmek, dünya çapında güvenliği ve düzenlemelere uyumu sağlamanın önemli bir parçasıdır. Her dron operatörü, yerel kaza raporlama kurallarını bilmeli, ayrıntılı kayıtlar tutmalı ve belirtilen süreler içinde herhangi bir usulsüzlüğü rapor etmelidir. Bu eylemler, operasyonel güvenliğin artırılmasına ve gelecekteki sorunların önlenmesine katkıda bulunur. Raporlama yöntemleri ve ayrıntıları, belirli bir ülkede yürürlükte olan düzenlemelere göre değişebilir, ancak temel ilkeler benzer kalır. Her ülke genellikle uluslararası havacılık güvenliği standartlarına uygun kendi kaza raporlama sistemine sahiptir.

5.7.1. Olay Bildirimi

Bir olaya tanık olan veya bir kazaya karışan bir çalışan, olayı derhal amirine veya ilgili organizasyon birimine bildirmelidir. Bu nedenle, çalışanların olayları (acil müdahale gerektiren veya gerektirmeyen) bildirmeleri için bir yöntem veya belge oluşturulmalıdır.

Kuruluş, raporu onaylamaktan sorumlu kişiyi (ör. yönetici, uyum yöneticisi) açıkça belirlemelidir.

İnsansız hava araçlarının ciddi olaylara veya kazalara karıştığı durumlarda olay raporlaması genellikle zorunludur.

5.7.1.1. Olası Olaylar

Olaylar şunları içerebilir:

- Teknik arıza: Mekanik hasar, navigasyon sistemi arızaları, motorlar, piller veya dronun diğer kritik bileşenlerinde sorunlar.
- İletişim kaybı: Operatör ile dron arasındaki iletişimin kesilmesi, bu da kontrolsüz uçuşa neden olabilir.
- Çarpışmalar: Uçuş sırasında dronun nesnelerle (doğal veya yapay) çarpışması.
- Güvenlik tehlikeleri: Çevredeki kişilerin hayatını, sağlığını veya mülkiyetini tehlikeye atabilecek her türlü durum.
- Yasal ihlaller: Yasak bölgelerde uçmak veya yasal düzenlemelerle belirlenen sınırları aşmak.

5.7.1.2. Olayları Bildirme Yöntemleri

Olaylar ve kazalar, ülkeden ülkeye değişebilen belirli bir süre içinde bildirilmelidir: Olaylar genellikle meydana geldikten sonra 72 saat içinde bildirilmelidir, kazalar ise genellikle 24 saat içinde derhal bildirilmelidir.

Her ne kadar belirli raporlama yöntemleri ülkeden ülkeye farklılık gösterse de, genellikle olayları raporlamanın iki ana yolu vardır:

- Çevrimiçi bildirim: Birçok ülkede, olay ayrıntılarını çevrimiçi olarak hızlı ve kolay bir şekilde iletmenizi sağlayan elektronik olay bildirim sistemleri bulunmaktadır.
- Bildirim formları: Bazı durumlarda, formları indirip elle doldurarak ilgili makamlara elektronik olarak veya kağıt üzerinde gönderebilirsiniz.

5.7.1.3. Olay Raporlarının İçeriği

Her olay derhal bildirilmeli ve aşağıdaki bilgileri içeren bir olay yönetim sistemine kaydedilmelidir:

- Olayın tarihi ve saati: Olayın meydana geldiği tam zaman.

- Yer: Olayın meydana geldiği tam yer.
- Operatör bilgileri: Olay sırasında dronu kullanan kişi hakkında bilgiler.
- Dron ayrıntıları: Olaya karışan dronun modeli, seri numarası ve diğer teknik bilgiler.
- Katılımcılar
- Olayın açıklaması: İlgili tüm koşullar dahil olmak üzere olayla ilgili ayrıntılı bilgiler.
- Sonuçlar: Maddi hasar, dronda meydana gelen hasar ve çevredeki kişilerin yaralanmaları hakkında açıklama.
- Alınan önlemler: Olayın daha da kötüye gitmesini önlemek ve güvenliği sağlamak için alınan önlemlerin açıklaması.
- Öneriler: Gelecekte benzer olayların önlenmesi için prosedürlerin veya tekniklerin iyileştirilmesine yönelik sonuçlar ve öneriler.

5.7.1.4. Diğer Hususlar

Olayların hızlı bir şekilde raporlanması, hızlı analiz ve olası önleyici tedbirlerin alınması için çok önemlidir.

Olaylar teknik ekip tarafından düzenli olarak analiz edilmeli ve elde edilen sonuçlar işletim prosedürlerinde yapılan değişikliklere, personel eğitime ve ekipmanın teknik iyileştirmelerine yansıtılmalıdır.

Olayların doğru şekilde raporlanması, gelecekteki sorunların önlenmesine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda operasyonel güvenliği artırır ve dron yönetim prosedürlerine olan güveni güçlendirir.

Bu raporlar, olay analizi, risk belirleme ve durumu iyileştirmek için prosedürlerin uygulanmasını mümkün kılmalıdır.

Birçok ülkede, dron operatörlerinin üçüncü şahıslara veya mülklere zarar verilmesi durumunda sivil sorumluluk sigortası yaptırmaları zorunludur. Bu sigorta, ticari uçuşlar veya nüfuslu alanlar üzerinde yapılan uçuşlar için özellikle önemlidir.

Olay ve kaza raporlamasının etkinliğini artırmak ve güvenliğini iyileştirmek için, kuruluş raporlama sistemini Güvenlik Yönetim Sistemi (SMS) ile entegre etmelidir. Bu, her olay raporunun daha geniş bir risk analizinin parçası olmasını sağlar ve etkili önleyici tedbirlerin geliştirilmesine olanak tanır.

Bir diğer önemli husus, "adil kültür"ün uygulanmasıdır, yani çalışanların, ağır ihmal olmadığı sürece disiplin cezalarından korkmadan olayları bildirebilecekleri bir ortamın yaratılmasıdır. Bu yaklaşım, açıklığı teşvik eder, bildirilen olayların sayısını artırır ve tehlikelerin daha etkili bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Ciddi olaylar veya kazalar durumunda, operatörlerin olayı sadece kurum içinde bildirmekle kalmayıp, ulusal sivil havacılık otoritesi (örneğin Avrupa'da EASA, ABD'de FAA, Polonya'da ULC) gibi ilgili düzenleyici makamlara da bildirmeleri gerekir.

Sürekli olay raporlamasına ek olarak, kuruluş trend analizi, düzeltici eylemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi ve daha ileri önleyici tedbirlerin planlanması için düzenli özet raporlar (örneğin aylık veya yıllık) hazırlamalıdır. Bu raporlar hem iç kullanım için hem de denetim otoritelerine iletilmek üzere kullanılabilir.

İyi tasarlanmış bir olay raporlama sistemi, zorunlu sigorta ile birleştirildiğinde, sadece operasyonel güvenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda müşteriler, düzenleyici kurumlar ve kamuoyu arasında dron filosunu yöneten kuruluşun güvenilirliğini de artırır.

5.8. ETKİLİ PROFESYONEL İLETİŞİM

İnsansız hava araçlarının (İHA) işletimi ve bakımında görev alan bir teknisyenin çalışma ortamında, profesyonel iletişim, operasyonların sorunsuz yürütülmesi, onarımların etkinliği ve tüm operasyonel sürecin güvenliği açısından kilit bir rol oynar. Bu iletişim için en önemli araçlardan biri, uygun şekilde bakım yapılan teknik belgelerdir. Bu belgeler, ekip üyeleri arasında bilgi aktarımını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda müşteriler, denetçiler, denetçiler ve denetim kurumlarının temsilcileriyle iletişim kurmanın temelini oluşturur. Bu bağlamda, profesyonel iletişim, uygun şekilde hazırlanmış ve standartlaştırılmış belgeler kullanılarak teknik,

operasyonel, lojistik ve resmi bilgilerin düzenli bir şekilde aktarılması şeklinde gerçekleşir.

Ancak, belgelerin iletişim görevlerini yerine getirebilmesi için, etkili profesyonel iletişimin bir dizi kuralı ve bileşeni ile desteklenmesi gerekir. Bu iletişimin etkinliği, diğer şeylerin yanı sıra şunları içerir: mesajın netliği ve belirsiz olmaması, ortak bir dil ve standartlaştırılmış formatların kullanılması, güncel bilgiler, veri kullanılabilirliği ve güvenliği. Profesyonel teknik iletişim ayrıca mantıklı bir belge yapısı, prosedürlere uyum ve geri bildirimle açıklık gerektirir. Her teknisyen, çok kanallı dokümantasyon ortamında verimli bir şekilde gezinmek için dil ve dijital becerilere de sahip olmalıdır. Tüm bu bileşenler birlikte, İHA'larla çalışırken çok önemli olan etkili ve sorumlu bilgi alışverişinin temelini oluşturur.

İletişim işlevini yerine getiren teknik belge türleri çeşitlidir ve hem devam eden operasyonlarla hem de faaliyetlerin planlanması ve raporlanmasıyla ilgili belgeleri içerir. En önemli belgeler, hizmet teknisyenleri tarafından İHA bakımı, onarımı veya denetimleri gerçekleştirildikten sonra oluşturulan teknik raporlardır. Bu tür bir rapor, cihazın teknik durumunun, tespit edilen arızaların, bileşen aşınmasının, gerçekleştirilen testlerin ayrıntılı bir açıklamasını ve ayrıca ileriye dönük eylemler için önerileri içerir. Bu tür belgeler hem dahili olarak (denetçilere veya teknik planlamacılar) hem de harici olarak (örneğin, emanet edilen ekipmanın durumu hakkında geri bildirim alan müşteriye) iletilir. Bu belgenin profesyonelliği, netliği, belgeleme standartlarına uygunluğu ve teknisyenin sonuçları kesin ve objektif bir şekilde formüle etme becerisinde yansıtılır.

Profesyonel iletişimi destekleyen bir diğer önemli belge türü ise iş emirleridir. Bu tür belgeler, teknik bakımın planlanması veya yönetilmesinden sorumlu kişiler tarafından düzenlenir ve faaliyetlerin kapsamı, son tarihler, gerekli kaynaklar ve görevlendirilen personel ile ilgili özel talimatlar içerir. İş emri, belirtilen prosedürlere uygun olarak gerçekleştirilmesi gereken bir görevin resmi iletişimi olarak işlev görür. İş tamamlandıktan sonra, belge genellikle uygulama süreci, karşılaşılan sorunlar ve nihai sonuçlar hakkında bir not ile birlikte düzenleyen kişiye iade edilir. Bu şekilde, müşteriden yükleniciye ve geriye doğru iki yönlü bir iletişim

kanalı oluşturur ve tam şeffaflık ve operasyonel hesap verebilirlik sağlar.

Standart çalışma prosedürleri veya SOP'ler de ekip ve organizasyonel iletişimde özellikle önemlidir. Bu tür belgeler, dronun uçuşa hazırlanmasından güvenli kalkış, navigasyon ve iniş kurallarına, bakım, malzeme imhası ve acil durum prosedürlerine kadar belirli faaliyetlerin nasıl gerçekleştirileceğini ayrıntılı olarak tanımlar. SOP'ler, tüm ekip üyelerinin tek tip, kanıtlanmış modellerine göre çalışmasını sağlayan eğitim ve koordinasyon işlevi görür. SOP'lar aracılığıyla iletişim, tahminlere, belirsizliklere ve bireysel yorumlara son vererek iş sonuçlarının daha öngörülebilir ve tekrarlanabilir olmasını sağlar. Ayrıca eğitim, sertifikasyon ve iç kalite denetimlerinin temelini oluştururlar.

Operasyonel nitelikte olan ve güncel tutulan servis günlükleri ve teknik notlar da günlük teknik uygulamalarda önemli bir rol oynar. Bu belgeler, belirli bir günde İHA üzerinde gerçekleştirilen tüm faaliyetleri, kullanılan malzemeleri, kullanılan araçları ve ekipmanın ileriki kullanımına ilişkin yorumları kaydeder. Bu tür belgeler, özellikle birkaç teknisyenin dönüşümlü veya vardiyalı olarak tek bir cihaz üzerinde çalıştığı durumlarda yararlıdır. Servis günlüğü, mevcut durumda yeni personelin zaman alıcı eğitimine gerek kalmaksızın bilgilinin sorunsuz aktarılmasını ve çalışmanın devam ettirilmesini sağlar. İç iletişim açısından, operasyonların sürekliliğini korumak için temel bir araçtır.

Müşterinin talebi üzerine onarım, inceleme veya uçuş operasyonları gerçekleştirildiğinde, müşteriye sunulan nihai rapor son derece önemli bir belge haline gelir. Bu tür belgeler profesyonel, erişilebilir ve açık bir şekilde hazırlanmalıdır. Teknik verilerin yanı sıra çalışmanın sonuçlarının yorumlanması, potansiyel riskler hakkında bilgiler ve ileri adımlar için öneriler de içermelidir. Yazılı teknik rapor şeklinde müşteri ile profesyonel iletişim, güven oluşturmak, hizmetlerin şeffaflığını sağlamak ve ticari ilişkilerde yüksek standartları korumak için çok önemlidir.

Bildirim ve olay raporlarının rolü de göz ardı edilemez. İHA çalışma ortamında acil durumlar, arızalar, hava sahası ihlalleri ve diğer

düzensizlikler sıklıkla meydana gelir. Bu tür olayların her biri uygun şekilde belgelenmeli ve şirket içinde, çoğu zaman da dış kurumlara raporlanmalıdır. Olayın açıklamasına ek olarak, olay raporu operatörün ayrıntılarını, insansız hava aracının ayrıntılarını, olayın yerini ve zamanını ve alınan önlemleri içerir. Bu tür belgeler, hızlı müdahale, durum analizi ve düzeltici önlemlerin uygulanmasını sağlayan son derece önemli bir kriz iletişim aracıdır. Aynı zamanda, bu belgeler yasal bir işleve sahiptir ve kontrol, sigorta veya düzeltici önlemlerin temelini oluşturabilir.

Profesyonel iletişim bağlamında, e-posta şablonları, toplantı notları, bilgilendirme ve brifing tutanakları gibi daha az resmi ancak yine de önemli belgeleri de unutmamak gerekir. Görünüşte daha az teknik olsa da, bu tür belgeler de İHA ekiplerinin günlük işleyişinin ayrılmaz bir parçasıdır ve işbirliğinin etkinliğini etkiler. İyi hazırlanmış bir mesaj şablonu, müşteri taleplerine yanıt vermeyi hızlandırabilir, uçuş sonuçlarının raporlanmasını kolaylaştırabilir veya ekip organizasyonunu iyileştirebilir.

Özetle, İHA teknik belgeleri sadece verileri kaydetmek ve prosedürlere uyumu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda teknik bir ortamda etkili profesyonel iletişimin temelini oluşturur. Doğru belge türlerini seçip kullanarak ve etkili profesyonel iletişim ilkelerini takip ederek, bilgileri doğru bir şekilde aktarmak, görevleri etkili bir şekilde planlamak ve yürütmek, kriz durumlarına hızlı bir şekilde yanıt vermek ve güven ve şeffaflığa dayalı ilişkiler kurmak mümkündür. Bu belgelerin doğru kullanımı, hizmet kalitesini, operasyonel güvenliği ve tüm teknik ekibin yetkinliklerinin gelişimini doğrudan etkiler.

İHA ortamında etkili profesyonel iletişimi tamamlamak için, raporlama, arşivleme ve bilgi alışverişi süreçlerini destekleyen modern dijital araçların rolüne de dikkat edilmelidir. CMMS (Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi) sistemleri, mobil uygulamalar ve entegre İHA filo yönetim platformları, gerçek zamanlı dokümantasyon, otomatik uçuş parametreleri kaydı ve ekipmanın teknik durumu hakkında sürekli raporlama sağlamak için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu tür çözümler, ekip içinde hızlı veri paylaşımının yanı sıra arıza eğilimlerinin daha kolay izlenmesini, denetimlerin planlanmasını ve operasyonel verimliliğin analizini

mümkün kılar. Etkili profesyonel iletişimin önemli bir unsuru da personelin sosyal beceriler konusunda uygun şekilde eğitilmesidir.

Teknik eğitimin yanı sıra, operatörler ve teknisyenler rapor yazma, teknik not hazırlama, uçuş öncesi ve sonrası brifingler ve uygun geri bildirim verme konularında düzenli olarak eğitimlere katılmalıdır. Bu eğitim kursları, ekip içindeki iletişimin standartlaştırılmasını sağlar, yanlış yorumlama riskini ortadan kaldırır ve belgelerde sağlanan tüm verilerin açık, net ve standartlara uygun olmasını garanti eder. Dijital araçların personelin iletişim becerileriyle entegrasyonu, teknik hizmetin kalitesini, operasyonel güvenliği ve tüm kuruluşun faaliyetlerinin şeffaflığını doğrudan etkileyen tutarlı bir bilgi alışveriş sistemi oluşturur.

KAYNAKLAR

2.Bölüm Kaynakları

Austin, R. (2010). Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Integration. Wiley.

Bhamidipati, K. K., Uhlig, D., & Neogi, N. (2007). Engineering Safety and Reliability into UAV Systems: Mitigating the Ground Impact Hazard. Proceedings of the AIAA 2007-Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Hobbs, A., & Herwitz, S. (2006, Mayıs). Human Challenges in the Maintenance of Unmanned Aircraft Systems. NASA. Moffett Field, CA, USA.

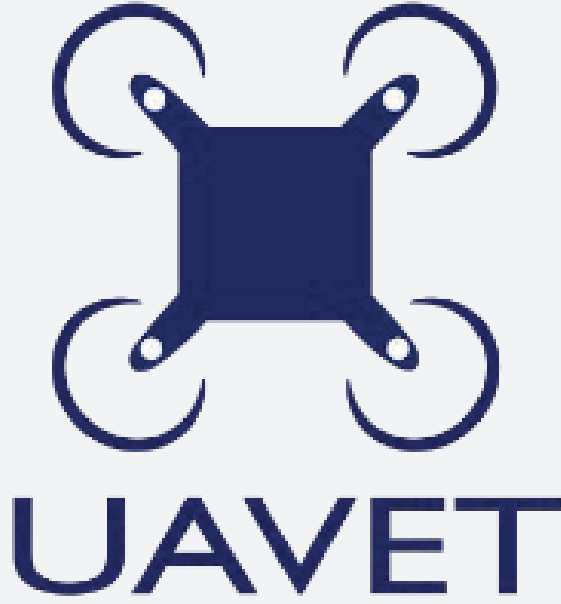
Li, Q., Cui, L., Wang, Q., Guo, A., & Yuan, H. (2025). Construction and Application of an Agent-Based Intelligent Operation and Maintenance System for UAV. Drones, 9(4), 309.

Nordin, M. H., Sharma, S., Khan, A., Gianni, M., Rajendran, S., & Sutton, R. (2020). Collaborative Unmanned Vehicles for Inspection, Maintenance, and Repairs of Offshore Wind Turbines. Drones, 4(6), 137.

Paggi, R., Mariotti, G. L., Paggi, A., & Leccese, F. (2015). Optimization of Availability Operation via simulated Prognostics. Proceedings of the Metrology for Aerospace, 2nd IEEE International Workshop (s. 44–48). IEEE.

Petriloti, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2018). Reliability Degradation, Preventive and Corrective Maintenance of UAV Systems. Proceedings of the 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace) (s. 430–434). IEEE.

Yang, L., Jia, G., Zheng, K., Wei, F., Pan, X., Chang, W., & Zhou, S. (2022). An Unmanned Aerial Vehicle Troubleshooting Mode Selection Method Based on SIF-SVM with Fault Phenomena Text Record. Applied Sciences, 12(11), 5347.



Co-funded by
the European Union



İHA BAKIM VE ONARIMI İÇİN ELEKTROMEKANİK TEKNİSYENLERİN
MESLEKİ BECERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

2023-1-TR01-KA220-VET-000151085

