



UÇAN ARABA SİMÜLASYON YARIŞMASI ÜNİVERSİTE ve ÜZERİ KATEGORİSİ FİNAL TASARIM RAPORU

Takım Adı: Hezârfen

Takım ID: 350582

Başvuru ID: 1991850

Proje Adı: Akıllı Uçan Araç

İÇİNDEKİLER

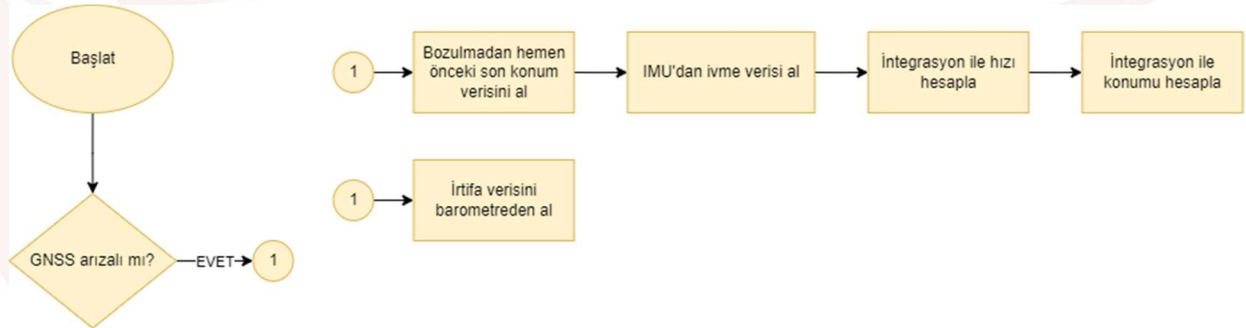
1. PROJE ÖZETİ	3
2. SANDBOX ARAYÜZÜ İLE SENARYO TESTİ VE AKIŞ DİYAGRAMLARI	3
2.1. Sensör Arızaları Algoritmaları	3
2.2. Kalman Filtresi	5
2.3. Rota Planlama ve Engelden Kaçınma	7
2.4. Hedefe Yönelme Algoritması	7
2.5. Hedefe Giden Genel Algoritma	9
3. TEKNİK SORULAR	12
3.1. Kalkış ve İniş Durakları	12
3.2. Sensörler	12
4. TAKIM YAPISI	15
5. KAYNAKÇA	15

1. PROJE ÖZETİ

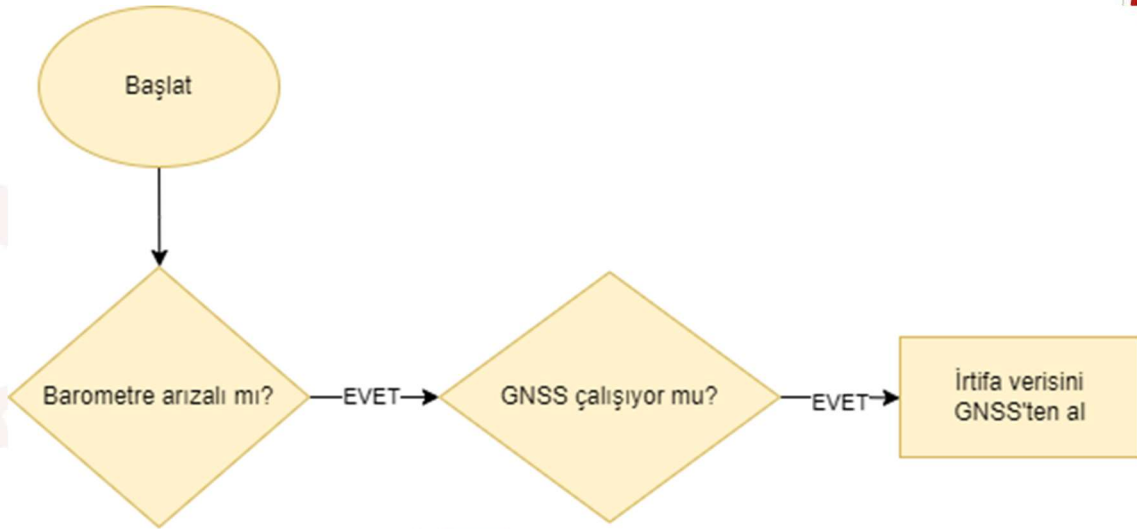
Bu rapor, Cezeri uçan araba yarışması kapsamında oluşturulan simülasyonda başarıyla tasarlanıp tamamlanan senaryonun yazılım akış diyagramlarını, algoritmalarını ve araştırmalarını içermektedir. Sandbox arayüzü kullanılarak tasarlanan senaryoda, bir Cezeri'nin uçuş rotasında çeşitli engellerle karşılaşması ve diğerinin sensör verilerini kullanarak güvenli bir şekilde seyir etmesi gerekmektedir. Simülasyon süreci, kapsamlı bir akış diyagramı ve kanıt videosu ile desteklenerek, algoritmanın her aşaması detaylandırılmıştır. Teknik sorular bölümünde, kalkış ve iniş durakları ile sensör modellemeleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Takım yapısı bölümünde, üyelerin görev dağılımı ve ekip organizasyonu belirtilmiştir. Rapor düzeni, akademik standartlara uygun olarak görsel ve kaynakça referansları ile desteklenmiş, anlaşılır bir formatta sunulmuştur.

2. SANDBOX ARAYÜZÜ İLE SENARYO TESTİ VE AKIŞ DİYAGRAMLARI

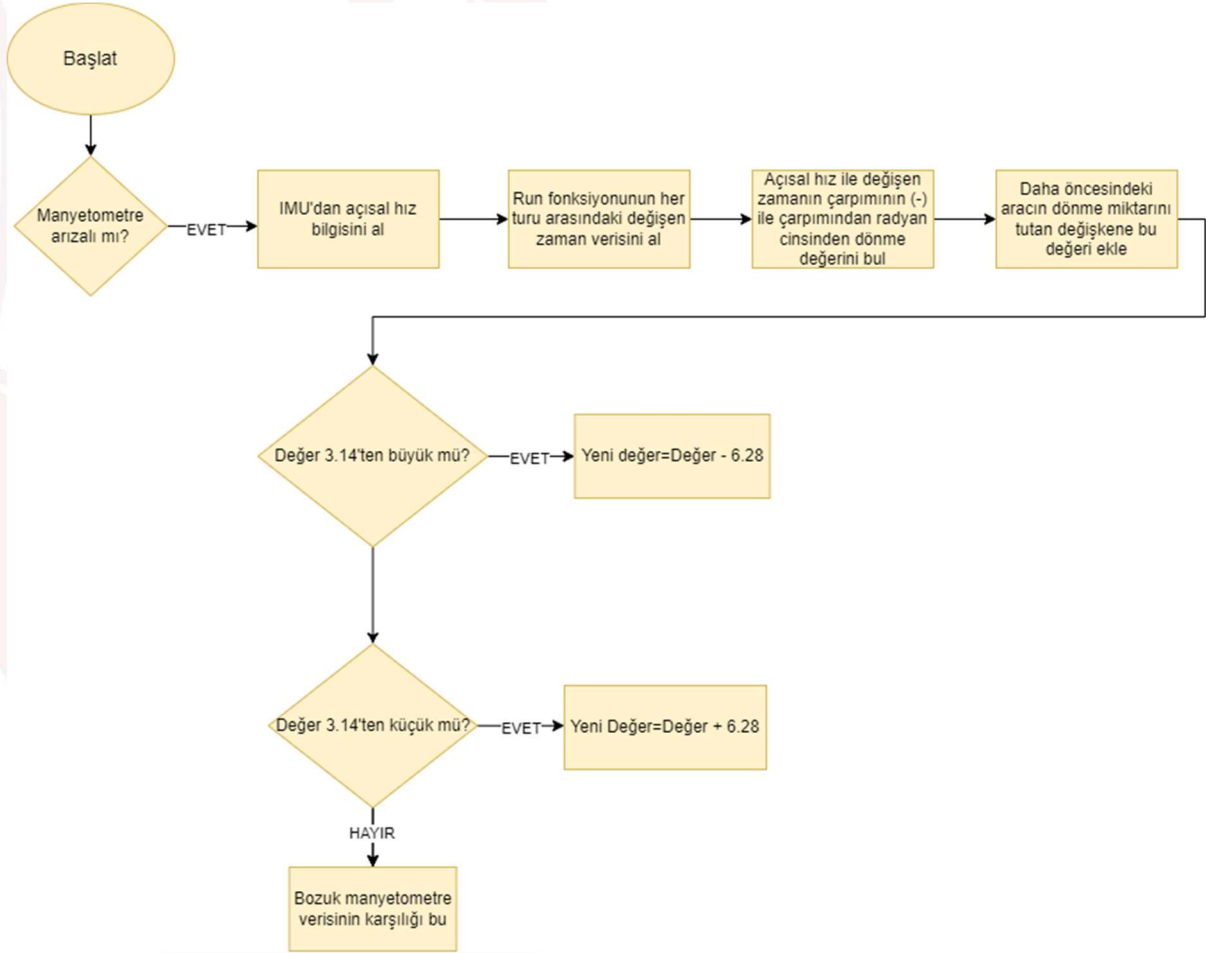
2.1. Sensör Arızaları Algoritmaları



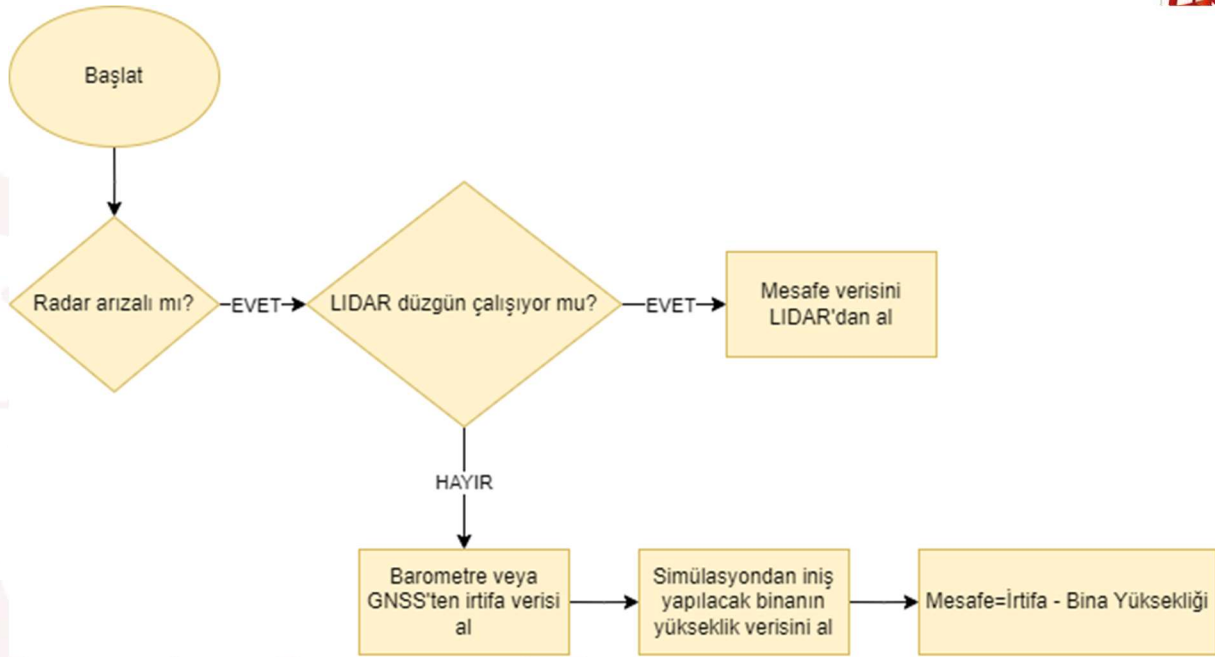
Şekil 1: GNSS arızası durumunda uygulanacak algoritma.



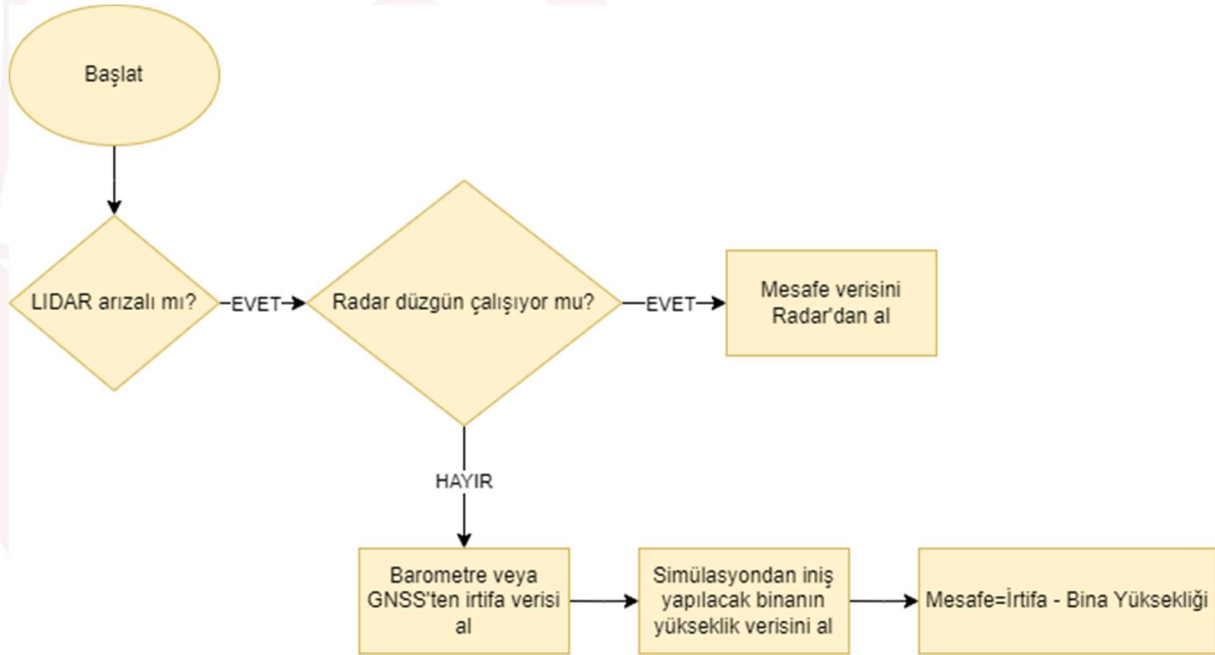
Şekil 2: Barometre arızası durumunda uygulanacak algoritma.



Şekil 3: Manyetometre arızası durumunda uygulanacak algoritma.



Şekil 4: Radar Arızası durumunda uygulanacak algoritma.

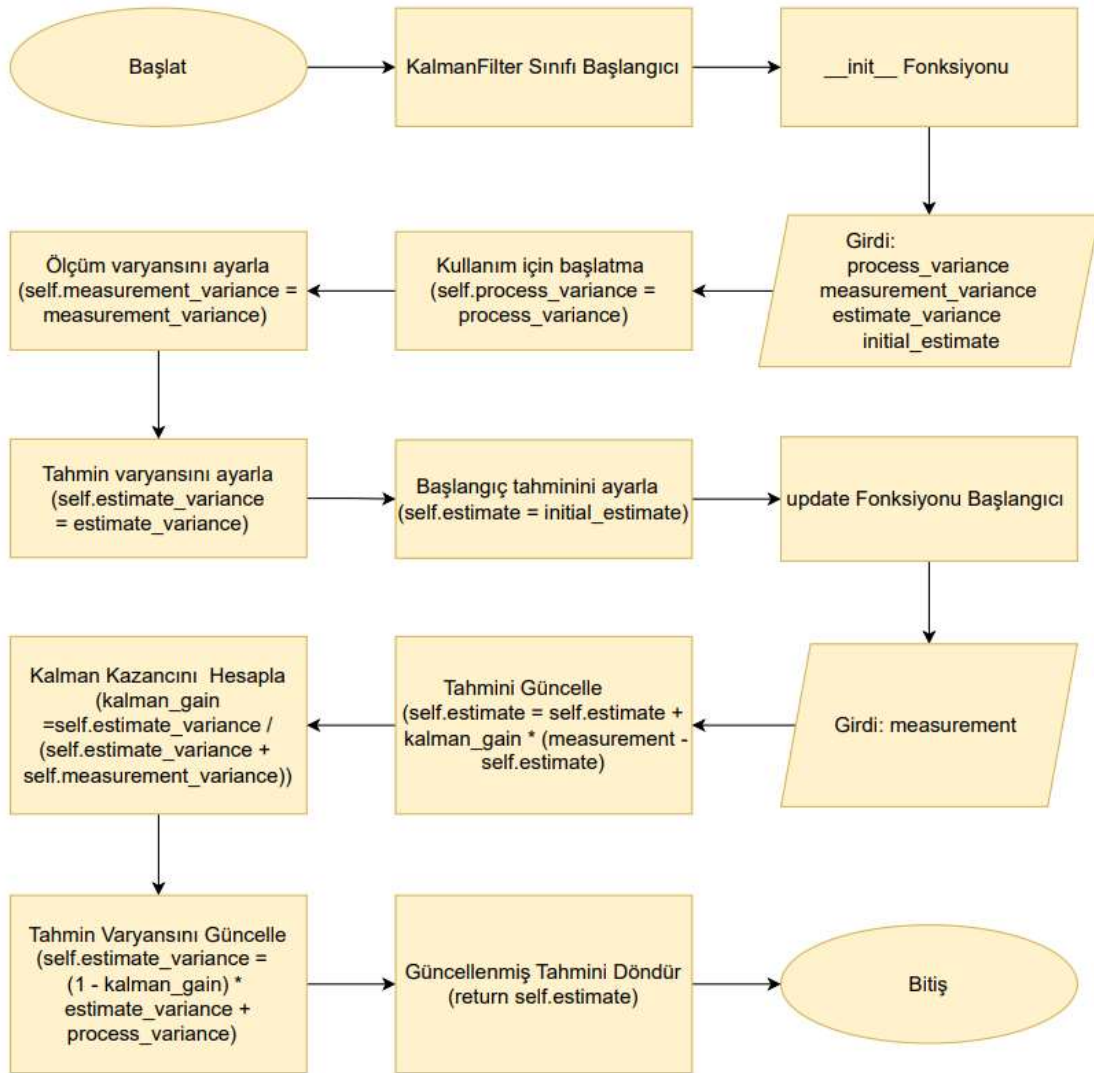


Şekil 5: LIDAR Arızası durumunda uygulanacak algoritma.

Yukarıdaki akış diyagramları; GNSS, manyetometre, radar, lidar, barometre ve IMU sensörlerinin hata durumlarında nasıl bir tepki vermesi gerektiğini ve sistemin bu durumlara nasıl uyum sağlayacağını gösterir. Bu diyagramlar, her sensör için olası hata senaryolarını ve bu durumlarda alınacak aksiyonları belirler. Sensör arızası anında uygulanacak düzeltici eylemler ve sistemin stabilize edilmesi gibi adımlar net bir şekilde açıklanır. Bu sayede, sensör hatalarının etkileri minimuma indirgenir ve sistemin genel performansı ile güvenilirliği artırılır.

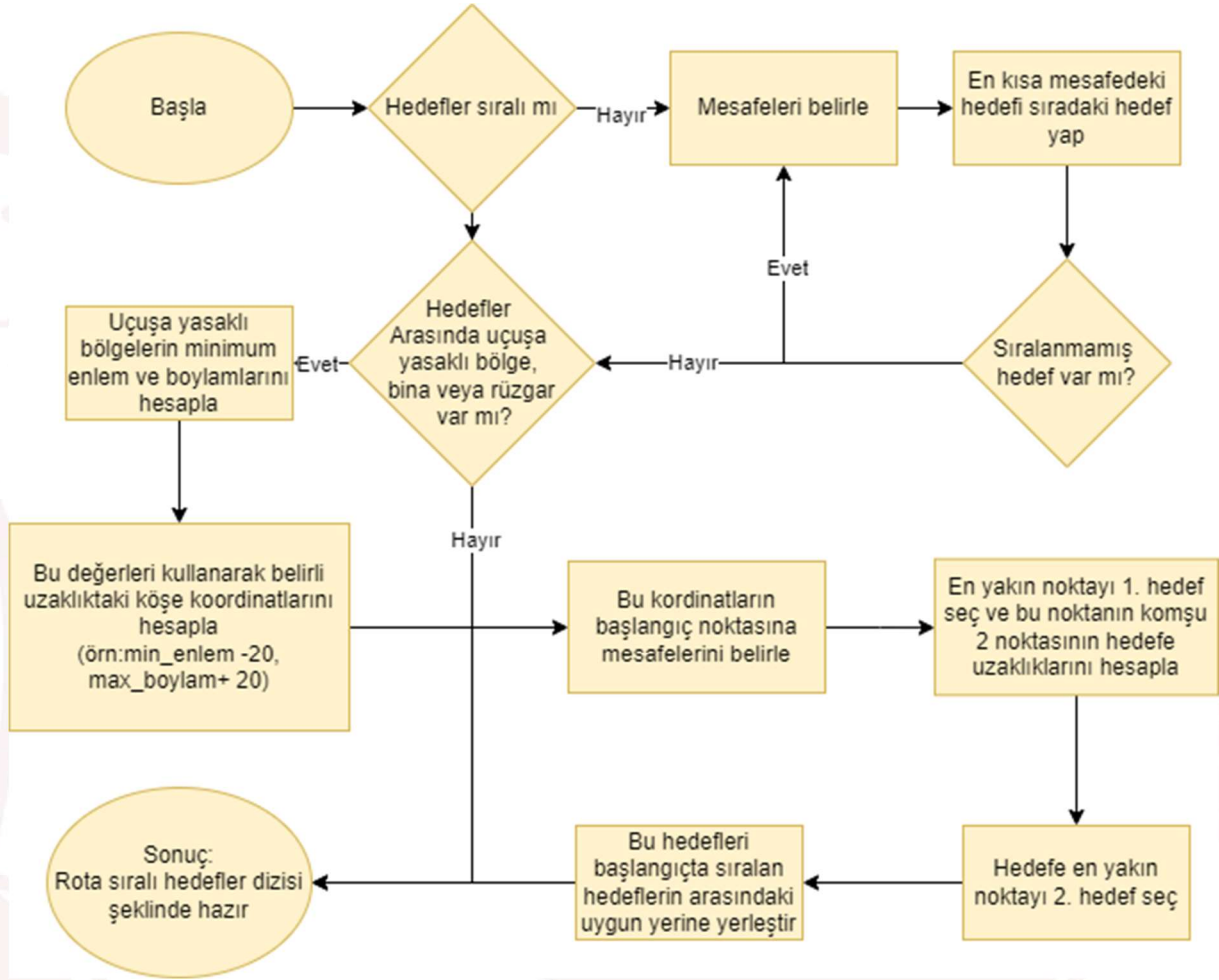
2.2. Kalman Filtresi

Bu akış şeması, Kalman filtresi algoritmasının temel adımlarını ve ilgili fonksiyonları içermektedir. Algoritma, tahmin edilen değerlerin ve ölçüm değerlerinin birleştirilmesiyle daha doğru bir tahmin elde etmek amacıyla kullanılır. Akış şeması, Kalman filtresinin başlatılması, tahmin güncellenmesi ve Kalman kazancının hesaplanması gibi temel adımları içerir. İlk olarak, tahmin ve ölçüm varyansları gibi başlangıç parametreleri ayarlanır. Daha sonra, ölçüm verisi alındığında, Kalman kazancı hesaplanır ve tahmin güncellenir. Güncellenmiş tahmin, hata varyansı ve Kalman kazancı kullanılarak elde edilir ve bu süreç, doğru bir tahmin elde edilene kadar devam eder. (Şekil 6)



Şekil 6: Kalman Filtresi algoritması.

2.3. Rota Planlama ve Engelden Kaçınma



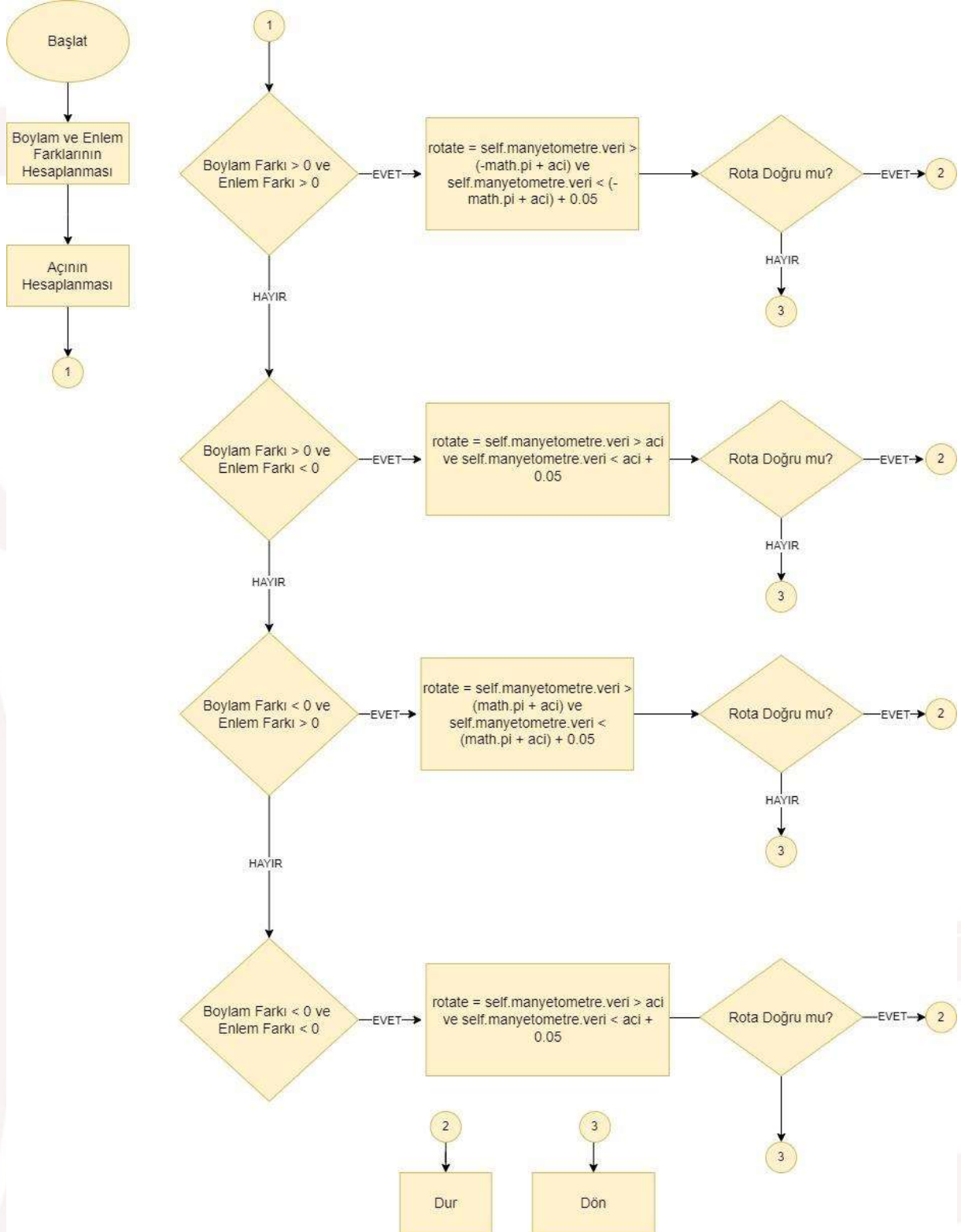
Şekil 7: Rota planlama ve engel etrafından dolaşmayı açıklayan akış diyagramı.

Tasarlanan sistemde rota hedefler dizisi şeklinde belirlenmektedir. Sonrasında bölüm 2.5'te belirtilen genel algoritma ile hedeflere sırayla gidilerek rota tamamlanır. Eğer iki hedef arasında uçuşa engel bir bölge (yüksek bir bina, rüzgar vb.) var ise bu engelin etrafından dolaşacak noktalar dizisi bu hedeflerin arasına eklenir. (Şekil 7)

2.4. Hedefe Yönelme Algoritması

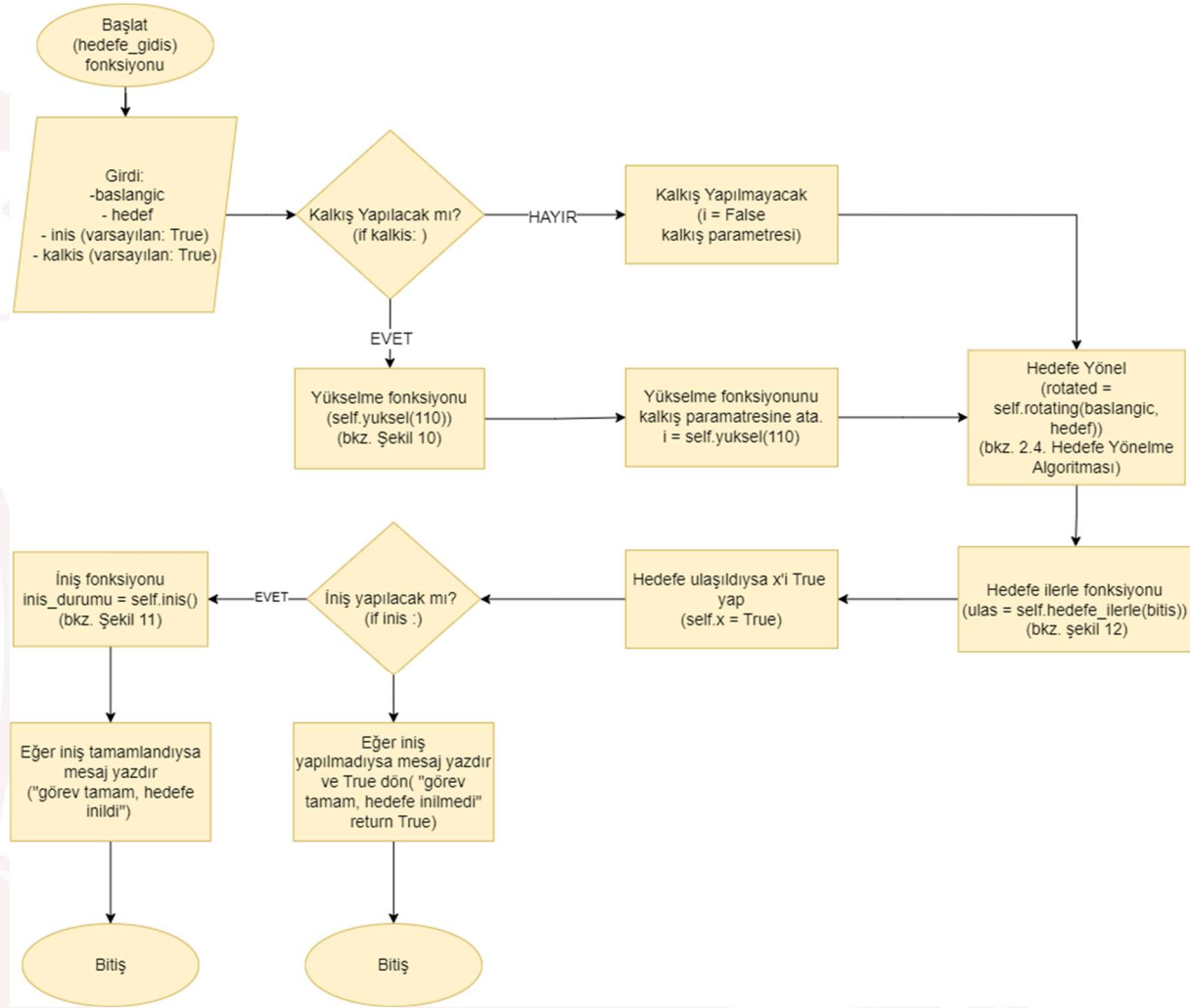
Hedefe yönelme algoritması temel olarak hedef koordinatlar ve başlangıç koordinatlarının arasındaki enlem ve boylam farkından yararlanarak bir açı hesaplamasına dayanır. Arctanjant fonksiyonunun değer aralığının $(-\pi/2, \pi/2)$ olmasından dolayı simülasyondaki manyetometre verisinin alması gereken değer bulunan açı ile bazı matematiksel işlemler yapılarak elde edilir. En sonda elde edilen

bu değere kusursuz olarak ulaşamadığı için küçük bir sapma payı hesaba katılarak hesap yapılır. (Şekil 8)

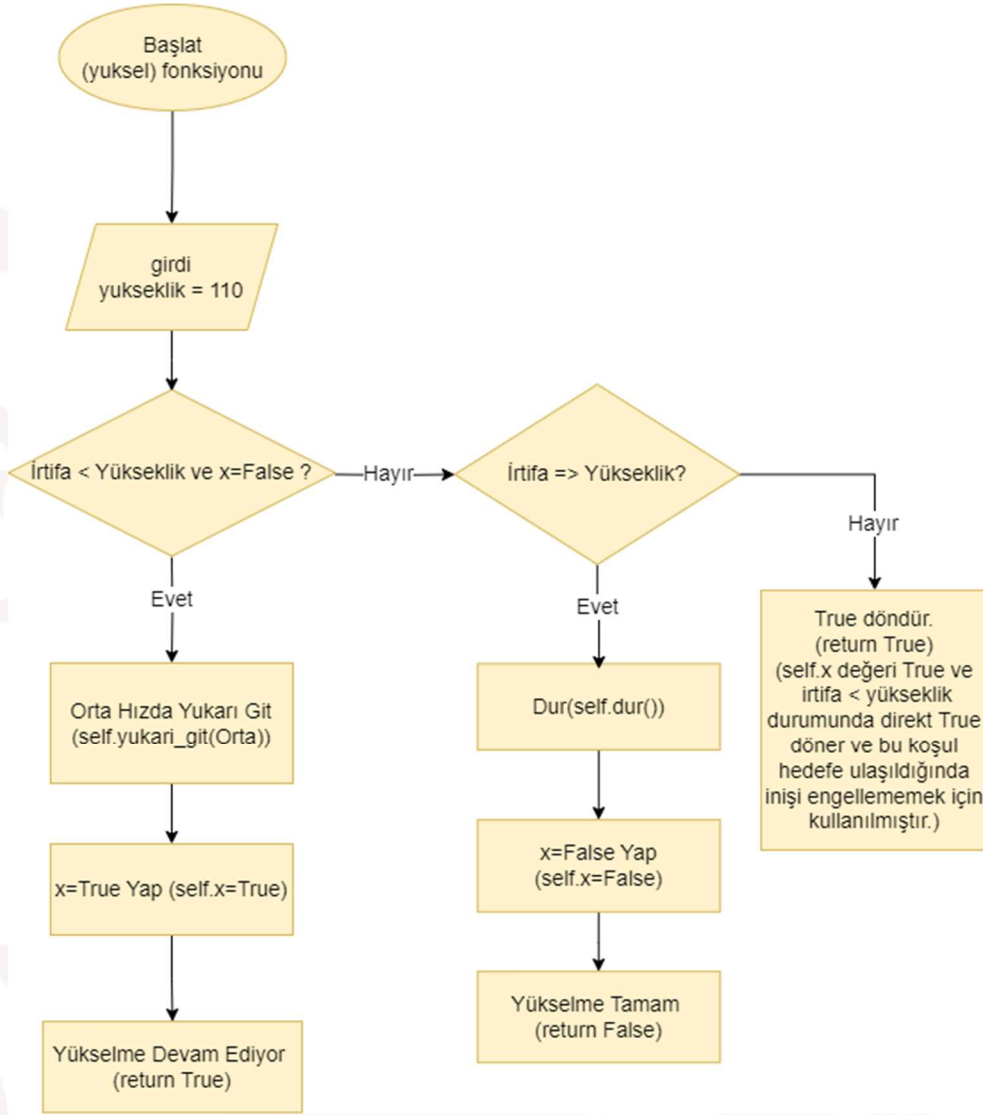


Şekil 8: Hedefe yönelme algoritması.

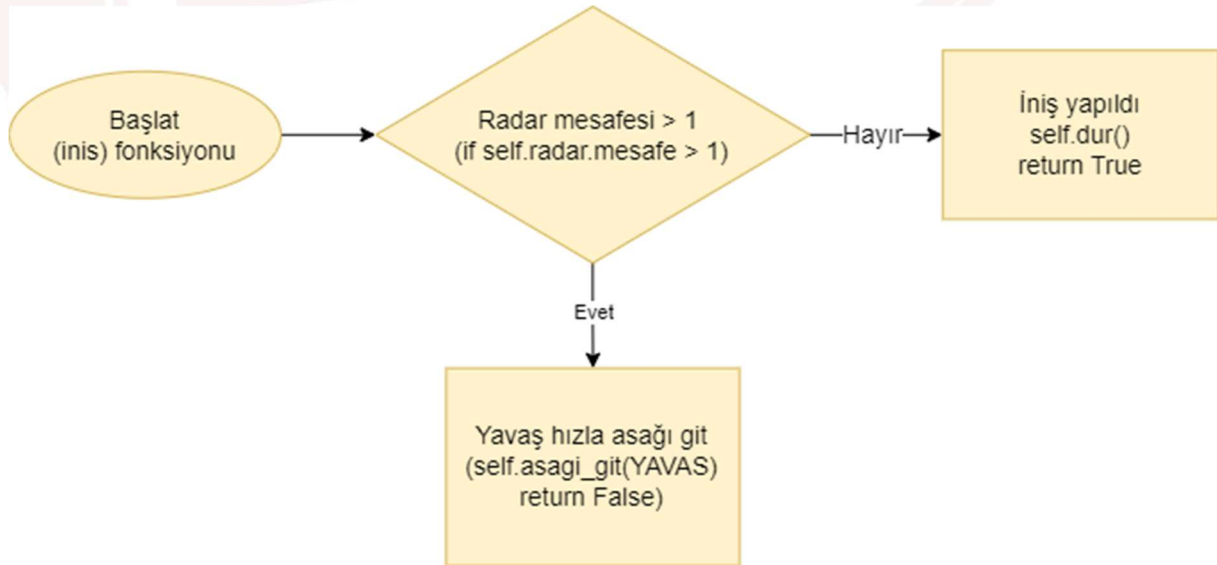
2.5. Hedefe Giden Genel Algoritma



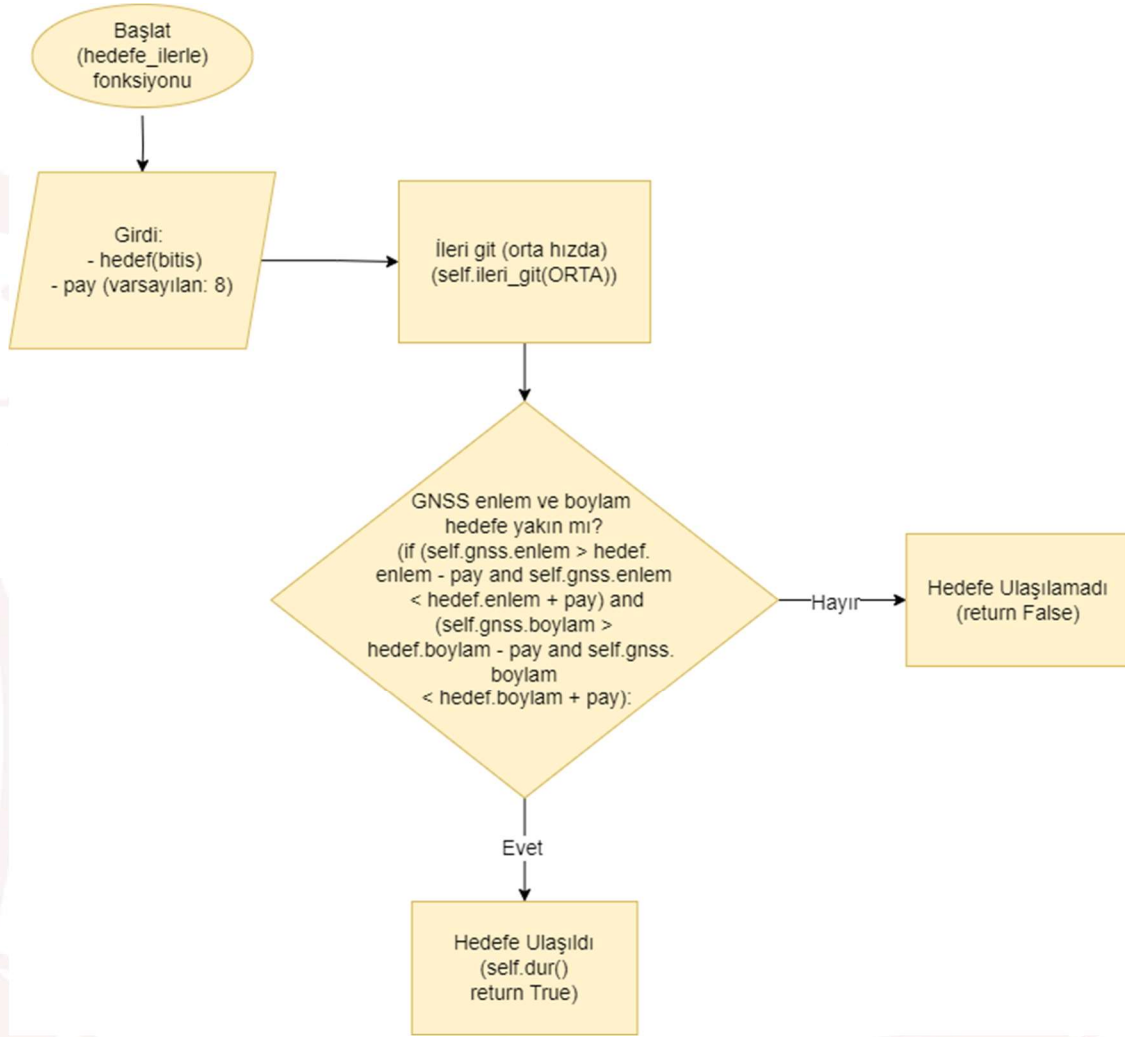
Şekil 9: Hedefe giden genel algoritma.



Şekil 10: Yükselme fonksiyonu algoritması.



Şekil 11: İniş fonksiyonu algoritması.



Şekil 12: Hedefe ilerleme algoritması.

Bu akış şemaları, uçan arabanın hedefe gitme sürecini yönetmek için kullanılan algoritmayı özetlemektedir. (Şekil 9) Başlangıç noktasında, arabanın kalkış yapıp yapmayacağına karar verilir. Kalkış kararı verildiğinde, araba hedef yüksekliğe (110 birim) ulaşana kadar orta hızda yukarı çıkar ve mevcut yüksekliği sürekli kontrol edilir. (Şekil 10) Yükselme tamamlandığında veya başarısız olduğunda uygun adımlar atılır ve arabanın hedefe yönelme süreci başlatılır. “yüksel” fonksiyonu arabanın irtifasını takip ederken, x ve i değişkenleri ile hedef yüksekliğe ulaşıp ulaşılmadığı ve yükselmenin başarılı olup olmadığı belirlenir. Başarılı bir yükselme sonrası, uçan araba hedefe doğru ilerler (Şekil 12) ve "rotating" fonksiyonu ile rotası kontrol edilir (2.4 Hedefe Yönelme Algoritması). Hedefe ulaşıldığında, x değişkeni ile arabanın inişe geçmesi sağlanır. İniş işlemi, arabanın güvenli ve kontrollü bir şekilde belirlenen noktaya inmesini içerir. Bu süreçte hız ve yükseklik kontrol edilerek güvenli bir iniş sağlanır. (Şekil 11)

3. TEKNİK SORULAR

3.1. Kalkış ve İniş Durakları

Uçan araba kalkış ve iniş pistleri, dikey kalkış ve iniş yetenekleri göz önünde bulundurularak kompakt ve dayanıklı asfalt, beton veya özel kompozit yüzey malzemeleri ile tasarlanmalıdır. Güvenlik ve verimlilik için uygun aydınlatma, net işaretlemeler, hava durumu sensörleri, engel tespit sistemleri ve acil durum ekipmanları bulunmalıdır.[1]

Kalkış ve iniş durakları, nüfus yoğunluğu, erişilebilirlik, hava trafiği, arazi ve altyapı ile çevresel etkiler gibi kriterlere dayanarak seçilmelidir. Duraklar yerleşim yerlerine yakın ama güvenli bir mesafede, toplu taşıma ve ana yollarla kolay ulaşılabilir, mevcut hava trafiğini etkilemeyecek konumlarda olmalıdır. Arazi, pist ve terminal inşası için uygun olmalı, mevcut altyapı olanakları değerlendirilmelidir. Çevresel etkiler minimize edilmelidir.[2]

Terminallerde, kullanıcı güvenliği için güvenlik kontrol noktaları, acil durum yolları ve ekipmanları, gözetim sistemleri, yangın güvenliği ve personel eğitimi gibi önlemler alınmalıdır. Güvenlik kameraları, yangın söndürme sistemleri ve acil durum çıkışları bulunmalı, personel acil durum prosedürleri konusunda eğitilmelidir.[3]

3.2. Sensörler

Sensör hatalarına neden olan faktörler arasında elektriksel gürültü, çevresel koşullar, kalibrasyon eksiklikleri ve veri iletimindeki kesintiler yer alır. Elektriksel gürültü, sensör sinyallerinin doğruluğunu azaltır ve sinyal-gürültü oranını (SNR) düşürür. Çevresel koşullar, sıcaklık, nem ve basınç değişimleri gibi faktörler sensör hassasiyetini etkiler. Kalibrasyon eksiklikleri, sistematik hatalara yol açar. Veri iletimindeki kesintiler, veri kaybına ve zaman gecikmelerine neden olur.

Elektriksel gürültü, sensör çıkışındaki sinyal (S) ve gürültü (N) arasındaki sinyal-gürültü oranı (SNR) üzerinden değerlendirilir. SNR şu şekilde tanımlanır:

$$SNR = 10 \log \left(\frac{PN}{PS} \right)$$

Denklem 1: Sinyal Gürültü Oranı Denklemi.

Burada PS sinyal gücü ve PN gürültü gücüdür. Elektromanyetik girişim (EMI) ve termal gürültü PN 'yi artırarak SNR'yi düşürür. Örneğin, S sinyali 1 V ve N gürültüsü 0.1 V ise SNR 20 dB olur. EMI nedeniyle N 0.2 V'a çıkarsa SNR 13.98 dB'ye düşer.[4]

Çevresel koşullar sensörlerin ölçüm doğruluğunu etkileyen kritik faktörlerdir. Sıcaklık değişimleri sensörlerin hassasiyet katsayısını (KT) etkileyebilir. Sensörün çıkışı VVV sıcaklık değişimi ΔT ile şu şekilde değişir[5]:

$$V = V_0 + KT \cdot \Delta T$$

Denklem 2: bir sensörün çıkış voltajındaki değişimi hesaplayan denklem.

Burada V_0 referans sıcaklıktaki çıkıştır. Örneğin, KT sıcaklık katsayısı $0.01 \text{ V/}^\circ\text{C}$ olan bir sensörde sıcaklık 20°C 'den 25°C 'ye çıktığında sensör çıkışındaki değişim 0.05 V olacaktır.

Kalibrasyon eksiklikleri sistematik hataların (E) oluşmasına neden olabilir. Kalibrasyon hatası sensör çıkışında sürekli bir sapma olarak görülür:

$$V = V_0 + E$$

Denklem 3: Kalibrasyon eksiklikleri nedeniyle sensör çıkışında oluşan sürekli bir sapmayı hesaplayan denklem.

Örneğin, bir basınç sensöründe kalibrasyon eksikliği nedeniyle 1 kPa'lık bir sapma oluşursa tüm ölçümler bu sapma kadar hatalı olacaktır.[6]

Veri iletimindeki kesintiler veri kaybına ve zaman gecikmelerine (Δt) neden olabilir. Bu gecikmeler, veri iletiminde rastgele kesintilere yol açarak sensör verilerinin eksik veya yanlış olmasına neden olur. Örneğin, bir veri paketinin iletilmesi sırasında Δt gecikmesi durum kestiriminde kullanılacak verilerin zamanında alınamamasına neden olabilir.[4][6]

Veri iletimindeki gecikme süresi (Δt) şu şekilde hesaplanabilir:

$$t_{\text{alıcı}} = t_{\text{gönderici}} + \Delta t$$

Denklem 4: Veri iletimindeki gecikme süresini hesaplar.

Durum kestirimi otonom hava araçlarının mevcut durumunu belirlemek için kullanılır. Ancak sensörlerden gelen veriler her zaman doğru olmayabilir ve bu durum kestiriminin doğruluğunu olumsuz etkiler. Hatalı ölçümler genellikle sensör hataları, çevresel faktörler veya hesaplama hatalarından kaynaklanır.[4]

Sensör füzyonu, birden fazla sensörden gelen verilerin birleştirilmesiyle daha doğru ve güvenilir bir durum kestirimi sağlar. Başlıca algoritmalar arasında Kalman filtresi, genişletilmiş Kalman filtresi (EKF), parçacık filtresi ve hızlı/yavaş zaman skalası füzyonu yer alır.[6]

Kalman filtresi, doğrusal dinamik sistemler için durum kestirimi yapan bir algoritmadır. Bu algoritma, sistem modelini ve ölçüm modelini kullanarak mevcut durumu tahmin eder ve bu tahminleri ölçümlerle günceller.[4][6]

Sistem Modeli:

$$x_k = F_{k-1}x_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1} + w_{k-1}$$

Denklem 5: Durum vektörü hesaplayan denklem.

Burada:

- x_k : k zamanındaki durum vektörü
- F_{k-1} : Durum geçiş matrisi
- B_{k-1} : Kontrol giriş matrisi
- u_{k-1} : Kontrol girdisi
- w_{k-1} : Süreç gürültüsü (genellikle Gauss dağılımlı)

Ölçüm Modeli:

$$z_k = H_k x_k + v_k$$

Denklem 6: Ölçüm vektörü hesaplayan denklem.

- z_k : k zamanındaki ölçüm vektörü
- H_k : Ölçüm matrisi
- v_k : Ölçüm gürültüsü (genellikle Gauss dağılımlı)

Kalman filtresi, durum ve ölçüm belirsizliklerini hesaba katarak güncellemeler yapar. EKF doğrusal olmayan sistemler için Kalman filtresinin genelleştirilmiş halidir. Jacobian matrisleri kullanılarak doğrusal olmayan denklemler doğrusal hale getirilir [6]:

$$F_k = \frac{\partial x}{\partial f}$$

Denklem 7: Sistem modelinin Jacobian matrisi.

$$H_k = \frac{\partial x}{\partial h}$$

Denklem 8: Ölçüm modelinin Jacobian matrisi.

Parçacık filtresi doğrusal olmayan ve doğrusal olmayan gürültüler içeren sistemler için kullanılır. Çok sayıda örnek (parçacık) kullanılarak sistemin durumu tahmin edilir [6]:

$$\{x_k^{(i)}, w_k^{(i)}\}_{i=1}^N$$

Denklem 9: doğrusal olmayan sistemlerin durum kestirimi için kullanılan denklem.

Hızlı güncellenen sensör verileri ile yavaş güncellenen sensör verileri birleştirilerek daha güvenilir bir durum kestirimi yapılır. Örneğin, GPS verileri yavaş güncellenirken atalet ölçüm birimi (IMU) verileri daha hızlı güncellenir.

Bu algoritmalar sensör verilerinin birleştirilmesiyle hatalı ölçümleri düzelterek otonom hava araçlarının durum kestirimini önemli ölçüde iyileştirir.[6]

4. TAKIM YAPISI

Takımımız, üç mühendislik öğrencisinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Takım kaptanımız, Üye 1, projenin yönetimi, organizasyon ve planlama, zaman yönetimi gibi konuların yanında hareket fonksiyonları algoritmalarının geliştirilmesinden sorumludur. Üye 2, filtre algoritmaları, sensör füzyon araştırmalarından ve bunların optimizasyonundan sorumludur. Aynı zamanda simülasyonda çalışacak kodun derlenmesi ve düzenlenmesini yöneten kişi üye 2'dir. Üye 3 ise literatür taraması, araştırma, projenin teknik detaylarını görsel olarak ifade eden kapsamlı akış diyagramlarını oluşturma ve algoritma geliştirme süreçlerine destek vermekten sorumludur. Takım içerisindeki dengeli iş bölümü ve uyum bireylerin ilgilendikleri alana yoğunlaşmasıyla verimli çalışmalarına yol açmaktadır.

5. KAYNAKÇA

- [1]Federal Aviation Administration (FAA), "Heliport Design Guide."
- [2]European Union Aviation Safety Agency (EASA), "Urban Air Mobility Guidelines."
- [3]SAE International, "Standards for Airborne Sensor Systems."
- [4]Yeşim Günhan "Ataletsel Ölçüm Birimi Hatalarının Belirlenmesi ve Düzeltmesi" 2014.
- [5]Çağın Ağırdemir, "IMU Sensörlerinde Olası Hataların Değerlendirilmesi," 2022.
- [6]Behnam Mahmoudi, "Uçuş Kontrol Sistemlerinde Sensör Hatalarının Tespiti ve Teşhisi," Ocak 2016, Trabzon.
- [7]M. N. Postorino ve G. M. L. Sarne, "Reinventing mobility paradigms: Flying car scenarios and challenges for urban mobility," Sustainability, cilt. 12, sayı. 9, 3581, Nisan 2020.