

## Helikopter Operasyonlarında Sürdürülebilirlik Paradoksu: Offshore ve Acil Sağlık Perspektifi

Hamza Ceylan<sup>1</sup>

### Özet

Helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik tartışmasını offshore enerji taşımacılığı ve helikopter acil sağlık hizmetleri (HEMS) bağlamında ele almaktadır. Helikopterler; dikey kalkış ve iniş, düşük irtifa uçuşu, askıda kalma kabiliyeti ve görev esnekliği sayesinde kritik hizmetlerin yürütülmesinde vazgeçilmez araçlardır. Bununla birlikte, bu operasyonel avantajlar yüksek enerji tüketimi, karbon emisyonu, gürültü etkisi ve toplumsal kabul sorunlarıyla birlikte değerlendirildiğinde sürdürülebilirlik açısından paradoksal bir yapı ortaya çıkmaktadır. Çalışmada sistematik literatür taraması yaklaşımı kullanılmış; Web of Science, Scopus ve TR Dizin veri tabanlarında 2010-2025 dönemine ait çalışmalar PRISMA 2020 akış mantığı doğrultusunda incelenmiştir. Tarama süreci; helikopter operasyonları, döner kanatlı hava araçları, sürdürülebilirlik, karbon emisyonu, enerji yoğunluğu, gürültü, offshore, HEMS, acil sağlık hizmetleri, kentsel hava hareketliliği ve elektrikli dikey kalkış-iniş araçları gibi anahtar kavramlar üzerinden yapılandırılmıştır. Analize dahil edilen 41 çalışma çevresel, operasyonel ve sosyal boyutlar altında tematik olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, helikopter operasyonlarında çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin operasyonel zorunluluklarla sürekli etkileşim içinde olduğunu göstermektedir. Özellikle HEMS operasyonlarında hayat kurtarma önceliği, offshore operasyonlarda ise güvenlik ve zorlu çevresel koşullar sürdürülebilirlik uygulamalarının sınırlarını belirlemektedir. Çalışma, helikopter operasyonları için teknolojik dönüşüm, operasyonel optimizasyon ve sosyal kabul politikalarının birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

1 Öğr. Gör., Kapadokya Üniversitesi, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği (İngilizce), 50400, hamza.ceylan@kapadokya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4242-0217

## 1. GİRİŞ

Havacılık sektörü, küresel hareketlilik ve ekonomik faaliyetler açısından stratejik bir rol üstlenirken, karbon emisyonları, gürültü kirliliği ve enerji tüketimi nedeniyle sürdürülebilirlik tartışmalarının merkezinde yer almaktadır. Uluslararası iklim hedefleri, havacılığın yalnızca ticari yolcu taşımacılığı açısından değil, tüm operasyonel alt sistemleriyle birlikte çevresel etkilerini azaltmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir havacılık, yakıt dönüşümü, operasyonel verimlilik, filo modernizasyonu, gürültü yönetimi ve yeni nesil tahrik teknolojilerini kapsayan bütüncül bir dönüşüm alanı olarak değerlendirilmektedir (Lee et al., 2021; Schäfer et al., 2019).

Sürdürülebilir havacılık literatürü büyük ölçüde sabit kanatlı hava araçları ve ticari yolcu taşımacılığı üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar çoğunlukla sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF), net sıfır hedefleri, elektrikli uçak teknolojileri ve operasyonel verimlilik uygulamalarını merkeze almaktadır. Buna karşılık, havacılık sisteminin kritik bir bileşeni olan helikopter operasyonları görece sınırlı biçimde ele alınmıştır. Oysa helikopterler, offshore enerji faaliyetlerinde personel ve ekipman taşımacılığı, acil sağlık hizmetlerinde hasta transferi, arama-kurtarma, afet yönetimi ve kamu güvenliği gibi yüksek toplumsal fayda üreten görevlerde yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Helikopterlerin sürdürülebilirlik açısından özgün bir konuma sahip olmasının temel nedeni, operasyonel kabiliyetleri ile çevresel etkileri arasındaki gerilimdir. Dikey kalkış ve iniş, düşük irtifa uçuşu ve askıda kalma kabiliyeti, helikopterleri sabit kanatlı uçaklardan ayıran temel avantajlardır. Ancak bu kabiliyetler, özellikle askıda kalma ve kısa mesafeli görev profillerinde enerji tüketimini artırmakta; yakıt verimliliği, karbon emisyonu ve gürültü bakımından önemli sınırlılıklar ortaya çıkarmaktadır (Babikian et al., 2002; Filippone, 2012).

Offshore helikopter operasyonları, açık deniz petrol, doğal gaz ve yenilenebilir enerji tesislerine erişim sağlama işlevi nedeniyle güvenlik ve süreklilik açısından kritik bir hizmet sunmaktadır. Bu operasyonlar çoğu zaman uzun menzil, sınırlı alternatif iniş alanı, değişken meteorolojik koşullar ve yüksek güvenlik gereksinimleri altında yürütülmektedir. HEMS operasyonları ise zaman baskısı, hayat kurtarma önceliği ve şehir içi ya da bölgesel erişim gereksinimleri nedeniyle sürdürülebilirlik uygulamalarının en zor dengelendiği alanlardan biridir. Bu iki operasyon tipi, helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik paradoksunu görünür hale getirmektedir.

Bu bölüm, offshore ve HEMS operasyonlarını karşılaştırmalı biçimde ele alarak helikopter operasyonlarının çevresel, operasyonel ve sosyal

sürdürülebilirlik boyutlarını sistematik literatür taraması aracılığıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, helikopter operasyonlarının yalnızca teknik bir emisyon sorunu olarak değil; görev profili, güvenlik önceliği, zaman baskısı, gürültü etkisi ve toplumsal kabul boyutlarıyla birlikte anlaşılması gerektiğini savunmaktadır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Havacılıkta sürdürülebilirlik literatürü, son yıllarda iklim değişikliği, karbon azaltımı ve enerji verimliliği tartışmalarıyla birlikte belirgin biçimde genişlemiştir. Lee ve arkadaşları (2021), havacılığın iklim etkisinin yalnızca karbon dioksit emisyonlarından ibaret olmadığını; azot oksitler, su buharı, partikül madde ve yoğunlaşma izleri gibi CO<sub>2</sub> dışı etkilerin de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle havacılıkta sürdürülebilirlik, yalnızca yakıt tüketimini azaltma hedefiyle değil, daha geniş çevresel etki yönetimiyle ilişkilidir.

Helikopter operasyonları bu tartışmada özgün bir yere sahiptir. Sabit kanatlı hava araçlarıyla karşılaştırıldığında helikopterler, daha düşük aerodinamik verimlilik ve daha karmaşık görev profilleri nedeniyle enerji yoğunluğu yüksek operasyonlar gerçekleştirebilmektedir. Özellikle askıda kalma, dikey kalkış ve iniş ile düşük hızda manevra gerektiren görevler yakıt tüketimini artırmaktadır. Bu nedenle helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik, yalnızca daha temiz yakıt kullanımına indirgenemeyecek kadar çok boyutlu bir konudur (Filippone, 2012; Leishman, 2006).

Gürültü etkisi, helikopter operasyonlarında çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik arasındaki en belirgin kesişim alanlarından biridir. Helikopterler düşük irtifada çalıştıkları ve rotor kaynaklı karakteristik gürültü ürettikleri için özellikle şehir içi HEMS operasyonlarında ve yerleşim alanlarına yakın helikopter iniş-kalkış noktalarında toplumsal kabul sorunları yaratabilmektedir. Gürültünün uyku bozukluğu, stres ve kardiyovasküler sağlık riskleriyle ilişkisini ortaya koyan çalışmalar, helikopter operasyonlarının yalnızca teknik değil, halk sağlığı boyutuyla da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Basner et al., 2014; Guski et al., 2017).

Offshore operasyonlarda sürdürülebilirlik tartışması büyük ölçüde güvenlik, menzil, operasyon sürekliliği ve enerji tüketimi ekseninde gelişmektedir. Açık deniz tesislerine yapılan uçuşlar, hava koşullarına duyarlılık, sınırlı iniş alternatifi ve yüksek emniyet standartları nedeniyle yakıt optimizasyonunun her zaman öncelikli hedef olmasını engelleyebilmektedir. Bu nedenle offshore operasyonlarda sürdürülebilirlik, uçuş sayısının azaltılması ya da yalnızca

yakıt verimliliğiyle değil; görev planlaması, filo seçimi, bakım süreçleri, rota optimizasyonu ve helideck standartlarıyla birlikte ele alınmalıdır.

HEMS operasyonlarında ise sürdürülebilirlik tartışması daha karmaşıktır. Bu operasyonlarda temel amaç hızlı müdahale ve hasta yaşam şansını artırmaktır. Bu nedenle uçuşun gerekliliği, operasyon süresi, hastane helipadı erişimi, gürültü etkisi ve yakıt tüketimi birlikte değerlendirilmelidir. HEMS hizmetlerinin sosyal faydası yüksek olmakla birlikte, şehir merkezlerine yakın operasyonlarda gürültü ve emisyon etkileri daha görünür hale gelmektedir. Bu durum, sağlık hizmetlerine erişim ile çevresel-sosyal etkiler arasında hassas bir denge kurulmasını gerektirir.

Son yıllarda elektrikli ve hibrit tahrik sistemleri, elektrikli dikey kalkış-iniş araçları (eVTOL) ve kentsel hava hareketliliği (Urban Air Mobility - UAM) çalışmaları helikopter operasyonlarına alternatif ya da tamamlayıcı çözümler olarak değerlendirilmektedir. Bu teknolojiler daha düşük yerel emisyon ve potansiyel olarak daha düşük gürültü vaat etse de batarya enerji yoğunluğu, sertifikasyon, operasyon menzili, şarj altyapısı ve emniyet gereksinimleri gibi sınırlılıklar nedeniyle kısa vadede mevcut helikopter operasyonlarının tümünü ikame edebilecek olgunlukta değildir (Garrow et al., 2021; Straubinger et al., 2020).

Literatür genel olarak helikopter operasyonlarının sürdürülebilirlik açısından çevresel, operasyonel ve sosyal boyutların kesişiminde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Buna rağmen offshore ve HEMS operasyonlarını aynı analitik çerçevede karşılaştıran çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmak amacıyla sistematik literatür taraması ve tematik analiz yaklaşımını kullanmaktadır.

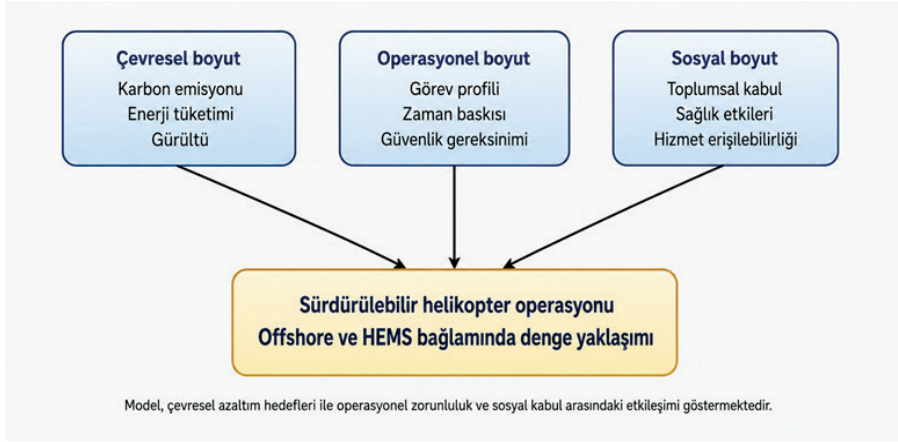
### 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasıyla sınırlı olmayan; ekonomik uygulanabilirlik ve sosyal kabul boyutlarını da içeren çok boyutlu bir kavramdır. Üçlü performans yaklaşımı (triple bottom line), çevresel, ekonomik ve sosyal göstergelerin birlikte değerlendirilmesini vurgulamaktadır (Elkington, 1997). Helikopter operasyonları açısından bu yaklaşım; emisyon azaltımı, operasyonel maliyet, görev başarısı, emniyet ve toplumsal kabul arasında denge kurulmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada helikopter operasyonlarının sürdürülebilirliği üç temel boyut üzerinden ele alınmaktadır. Birinci boyut çevresel boyuttur. Bu boyut karbon emisyonu, yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu ve gürültü etkisini kapsamaktadır. İkinci boyut operasyonel boyuttur. Bu boyut görev profili, zaman baskısı, güvenlik gereksinimleri, rota planlaması, bakım ve filo uygunluğu gibi unsurları

içermektedir. Üçüncü boyut sosyal boyuttur. Bu boyut toplumsal kabul, sağlık etkileri, hizmete erişim ve operasyonların kamu yararıyla ilişkisini kapsamaktadır.

Helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik paradoksu, bu üç boyut arasındaki gerilimden doğmaktadır. Offshore operasyonlarda çevresel etkileri azaltma hedefi; menzil, güvenlik ve operasyon sürekliliği gereksinimleriyle sınırlanabilmektedir. HEMS operasyonlarında ise çevresel ve gürültü etkilerini azaltma hedefi; hayat kurtarma önceliği, hızlı müdahale ve sağlık hizmetine erişim gereksinimleriyle dengelenmek zorundadır.



Şekil 1. Helikopter Operasyonlarında Üç Boyutlu Sürdürülebilirlik Modeli

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 1'de görülen model, helikopter operasyonlarında sürdürülebilirliğin yalnızca emisyon azaltımı üzerinden açıklanamayacağını göstermektedir. Çevresel performans, operasyonel görev zorunlulukları ve sosyal kabul birlikte ele alındığında, offshore ve HEMS operasyonlarında farklı sürdürülebilirlik öncelikleri ortaya çıkmaktadır.

## 4. YÖNTEM

### 4.1. Araştırma Tasarımı

Helikopter operasyonlarının sürdürülebilirlik boyutlarını incelemek amacıyla sistematik literatür taraması yaklaşımıyla tasarlanmıştır. Araştırma süreci, PRISMA 2020 akış mantığına uygun olarak tanımlama, tarama, uygunluk değerlendirmesi ve dahil etme aşamalarından oluşmaktadır (Page

et al., 2021). Sistematik tarama sonucunda elde edilen çalışmalar tematik analiz yöntemiyle incelenmiştir.

#### 4.2. Veri Tabanları ve Tarama Stratejisi

Literatür taraması Web of Science, Scopus ve TR Dizin veri tabanları üzerinden yürütülmüştür. Tarama dönemi 2010-2025 yılları arasındaki çalışmaları kapsamaktadır. İngilizce ve Türkçe yayınlar değerlendirmeye alınmıştır. Tarama stratejisinde hem helikopter operasyonlarını hem de sürdürülebilirlik boyutlarını yakalamak amacıyla genişletilmiş anahtar kelime seti kullanılmıştır.

*Tablo 1. Literatür Tarama Stratejisi*

Boyut	Kullanılan Anahtar Kelimeler
Araç/operasyon türü	helicopter operations, rotorcraft, rotary wing aircraft, medical helicopter, air ambulance, HEMS, helikopter operasyonları, döner kanatlı hava aracı
Sürdürülebilirlik boyutu	sustainability, environmental impact, carbon emission, energy intensity, energy efficiency, aviation noise, noise, gürültü, karbon emisyonu, enerji yoğunluğu
Operasyon bağlamı	offshore, emergency medical services, EMS, HEMS, urban air mobility, eVTOL, offshore operasyonlar, acil sağlık hizmetleri
Tarama aralığı	2010-2025; Türkçe ve İngilizce; hakemli dergi makaleleri ağırlıklı

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Temel arama dizgisi şu mantıkla yapılandırılmıştır: (helicopter operations OR rotorcraft OR rotary wing aircraft OR medical helicopter OR HEMS) AND (sustainability OR environmental impact OR carbon emission OR energy intensity OR aviation noise OR noise) AND (offshore OR emergency medical services OR EMS OR urban air mobility OR eVTOL). Türkçe literatürü kapsamak amacıyla helikopter operasyonları, döner kanatlı hava aracı, acil sağlık hizmetleri, gürültü ve karbon emisyonu gibi karşılıklar da taramaya dahil edilmiştir.

#### 4.3. Dahil Etme ve Dışlama Kriterleri

Çalışmaların seçilmesinde aşağıdaki dahil etme ve dışlama kriterleri kullanılmıştır. Dahil etme kriterleri; hakemli dergilerde yayımlanmış çalışma olması, helikopter veya döner kanatlı hava araçlarıyla ilişkili olması, sürdürülebilirlik/çevresel etki/operasyonel verimlilik/gürültü boyutlarından en

az birini ele alması ve tam metnine erişilebilmesi olarak belirlenmiştir. Dışlama kriterleri ise yalnızca sabit kanatlı hava araçlarına odaklanan çalışmalar, konu ile doğrudan ilişkili olmayan yayınlar, konferans özetleri, editoryal yazılar, teknik broşürler ve tam metnine erişilemeyen çalışmalardır.

#### 4.4. Kalite Değerlendirmesi

Tam metin incelemesine alınan çalışmalar metodolojik uygunluk ve içerik kalitesi açısından beş ölçüt üzerinden değerlendirilmiştir: (i) araştırma amacının açık tanımlanması, (ii) yöntem veya veri kaynağının şeffaf biçimde sunulması, (iii) helikopter/offshore/HEMS bağlamıyla doğrudan ilişki kurulması, (iv) çevresel, operasyonel veya sosyal sürdürülebilirlik boyutlarından en az birini analitik biçimde ele alması ve (v) bulguların veri, model ya da literatür dayanağıyla desteklenmiştir.

*Tablo 2. Kalite Değerlendirme Ölçütleri*

Ölçüt	Açıklama	Puan
Amaç açıklığı	Çalışmanın araştırma amacı ve kapsamı net biçimde belirtilmiştir.	0 = Hayır, 1 = Evet
Yöntem şeffaflığı	Kullanılan yöntem, veri kaynağı veya analiz yaklaşımı izlenebilir biçimde açıklanmıştır.	0 = Hayır, 1 = Evet
Konu uyumu	Çalışma helikopter, rotorcraft, offshore veya HEMS bağlamıyla doğrudan ilişkilidir.	0 = Hayır, 1 = Evet
Sürdürülebilirlik boyutu	Çevresel, operasyonel veya sosyal sürdürülebilirlik boyutlarından en az biri ele alınmıştır.	0 = Hayır, 1 = Evet
Bulguların dayanaklılığı	Sonuçlar veri, model, saha bulgusu veya güvenilir literatürle desteklenmiştir.	0 = Hayır, 1 = Evet

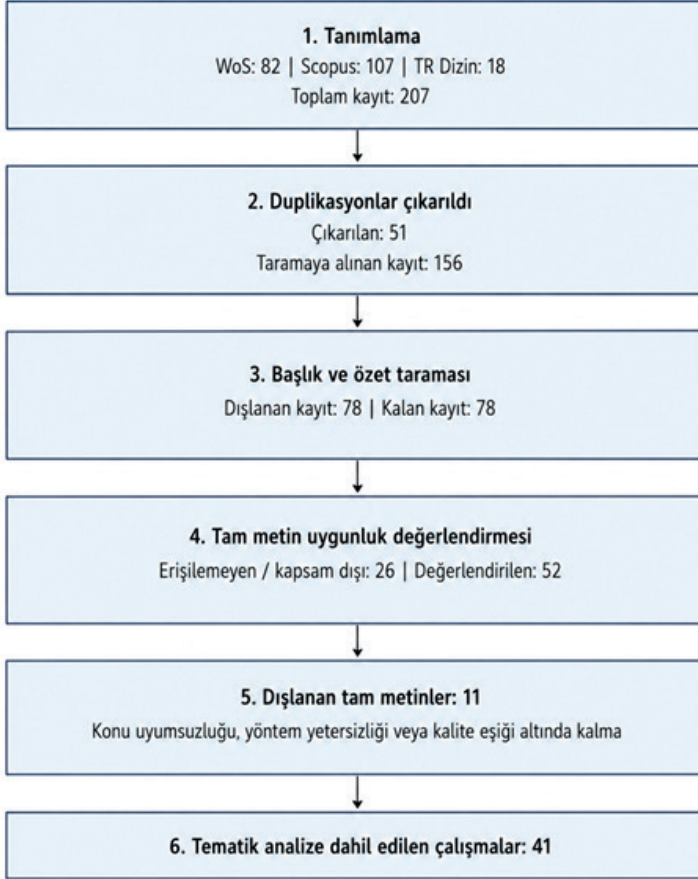
*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Her çalışma beş kalite ölçütü üzerinden değerlendirilmiştir. Ölçütün karşılanması durumunda 1, karşılanmaması durumunda 0 puan verilmiştir. Toplam puan 0 ile 5 arasında değişmektedir. Toplam puanı 4-5 olan çalışmalar yüksek kalite, 3 puan alan çalışmalar orta kalite, 0-2 puan alan çalışmalar ise düşük kalite olarak sınıflandırılmıştır.

#### 4.5. PRISMA Süreci ve Veri Seçimi

Tarama sonucunda 207 kayıt belirlenmiştir. Duplikasyonların çıkarılmasının ardından 156 kayıt başlık ve özet düzeyinde incelenmiştir. Bu aşamada konu kapsamı dışında kalan 78 kayıt elenmiş ve 78 çalışma tam metin erişimi ve uygunluk açısından değerlendirilmiştir. Tam metnine erişilemeyen veya

kapsam dışı kalan 26 çalışma sonrasında 52 çalışma kalite değerlendirmesine alınmıştır. Kalite ve uygunluk değerlendirmesi sonucunda 41 çalışma tematik analize dahil edilmiştir.



Şekil 2. PRISMA 2020 Akış Diyagramı

Kaynak: Yazar tarafından PRISMA 2020 akış mantığı esas alınarak oluşturulmuştur.

*Tablo 3. Literatür Tarama ve Seçim Süreci*

Aşama	Açıklama	Sayı
Tanımlama	WoS veri tabanı sonuçları	82
Tanımlama	Scopus veri tabanı sonuçları	107
Tanımlama	TR Dizin sonuçları	18
Tanımlama	Toplam kayıt	207
Tarama	Duplikasyonlar çıkarıldıktan sonra kalan kayıt	156
Tarama	Başlık ve özet incelemesi sonrası kalan kayıt	78
Uygunluk	Kalite değerlendirmesine alınan çalışma	52
Dahil etme	Tematik analize dahil edilen çalışma	41

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

#### 4.6. Tematik Analiz Süreci

Veri analizi sürecinde tematik analiz yöntemi kullanılmıştır. Kodlama süreci iki aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşamada kavramsal çerçeveden hareketle tümdengelsel kodlar oluşturulmuş ve çalışmalar çevresel, operasyonel ve sosyal boyutlar altında sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada çalışmaların bulgularından hareketle tümevarımsal alt kodlar geliştirilmiştir. Bu alt kodlar arasında karbon emisyonu, yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu, rota optimizasyonu, görev esnekliği, zaman baskısı, gürültü etkisi, toplumsal kabul ve sağlık etkileri yer almaktadır. Kodlama süreci sonunda tekrar eden temalar birleştirilmiş ve offshore ile HEMS operasyonlarına ilişkin karşılaştırmalı değerlendirme yapılmıştır.

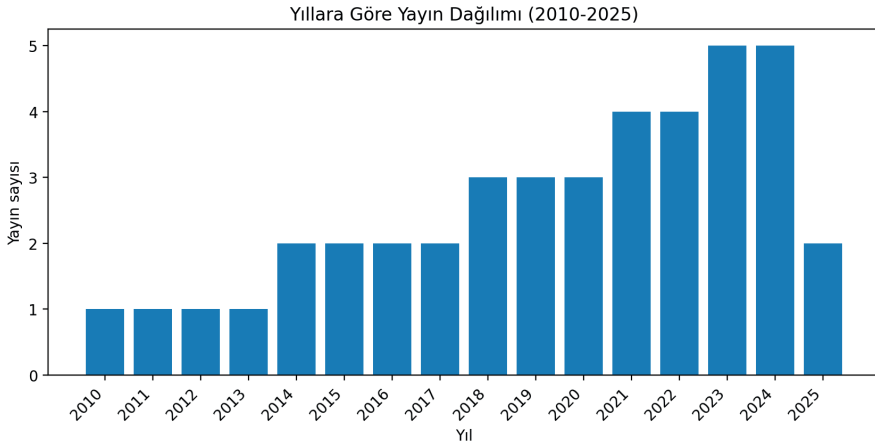
#### 4.7. Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışma, WoS, Scopus ve TR Dizin veri tabanlarında yer alan Türkçe ve İngilizce çalışmalarla sınırlıdır. Ayrıca yalnızca tam metnine erişilebilen ve belirlenen kalite eşliğini karşılayan çalışmalar analize dahil edilmiştir. Helikopter teknolojileri, eVTOL sistemleri ve sürdürülebilir havacılık yakıtları hızla gelişen alanlar olduğundan, literatürdeki bulgular zaman içinde değişebilir. Bu nedenle sonuçlar, 2010-2025 dönemindeki literatürün sistematik bir sentezi olarak değerlendirilmelidir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Yıllara Göre Yayın Dağılımı

Analize dahil edilen çalışmaların yıllara göre dağılımı, helikopter operasyonları ve sürdürülebilirlik konularına yönelik akademik ilginin özellikle 2018 sonrasında arttığını göstermektedir. Bu artış, sürdürülebilir havacılık politikalarının güçlenmesi, kentsel hava hareketliliği ve eVTOL teknolojilerine yönelik araştırmaların çoğalmasıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Yıllara Göre Yayın Dağılımı (2010-2025)

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

### 5.2. Tematik Analiz Bulguları

Tematik analiz sonucunda çalışmalar üç ana boyutta toplanmıştır: çevresel, operasyonel ve sosyal boyut. Çevresel boyut çalışmaların %70,7'sinde, operasyonel boyut %61,0'ında ve sosyal boyut %43,9'unda ele alınmıştır. Bu dağılım, literatürde çevresel boyutun daha güçlü temsil edildiğini; ancak sosyal boyutun görece sınırlı incelendiğini göstermektedir.

Tablo 4. Tematik Analiz Sonuçları

Tema	Alt Kategoriler	Çalışma Sayısı (n)	Yüzde (%)
Çevresel boyut	Karbon emisyonları, yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu, gürültü	29	70,7
Operasyonel boyut	Görev esnekliği, zaman baskısı, operasyonel verimlilik, emniyet gereksinimi	25	61,0
Sosyal boyut	Toplumsal kabul, sağlık etkileri, hizmet erişilebilirliği, gürültü algısı	18	43,9

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

### 5.3. Çevresel Boyut

Çevresel boyut, incelenen çalışmalar içinde en yoğun biçimde ele alınan temadır. Bulgular, helikopter operasyonlarında yakıt tüketimi ve karbon emisyonunun özellikle kısa mesafeli, düşük irtifalı ve askıda kalma içeren görevlerde arttığını göstermektedir. Offshore operasyonlarda menzil ve hava koşulları, HEMS operasyonlarında ise hızlı müdahale gereksinimi enerji verimliliği uygulamalarının sınırlarını belirlemektedir.

Gürültü, çevresel boyutun sosyal etkilerle kesiştiği en kritik konudur. Helikopter gürültüsü, özellikle şehir içi HEMS operasyonlarında toplumsal kabulü azaltabilmektedir. Bu nedenle gürültü yönetimi yalnızca teknik bir emisyon azaltımı meselesi değil, aynı zamanda halk sağlığı ve hizmet kabulü açısından da stratejik bir konudur.

### 5.4. Operasyonel Boyut

Operasyonel boyut, helikopterlerin sağladığı görev esnekliği ile sürdürülebilirlik hedefleri arasındaki gerilimi açıklamaktadır. HEMS operasyonlarında zaman baskısı ve hayat kurtarma önceliği, yakıt optimizasyonu veya gürültü azaltımı gibi uygulamaların sınırlı düzeyde uygulanmasına neden olabilir. Offshore operasyonlarda ise zorlu meteorolojik koşullar, güvenlik prosedürleri ve uzak platformlara erişim gereksinimi operasyonel verimlilik üzerinde belirleyici olmaktadır.

Bu bulgu, helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik politikalarının standart ticari havacılık modellerinden farklı tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Çünkü helikopter operasyonlarında uçuşların ertelenmesi, azaltılması veya farklı modlarla ikame edilmesi her zaman mümkün değildir. Bu nedenle sürdürülebilirlik yaklaşımı, görev iptali yerine görev planlaması,

rota optimizasyonu, filo uygunluğu, yakıt yönetimi ve bakım verimliliği gibi alanlarda geliştirilmelidir.

### 5.5. Sosyal Boyut

Sosyal boyut, literatürde çevresel ve operasyonel boyutlara kıyasla daha sınırlı ele alınmıştır. Ancak özellikle HEMS operasyonlarında sosyal boyut, çalışmanın en kritik tartışma alanlarından biridir. HEMS hizmetleri toplum sağlığı açısından yüksek fayda üretirken, şehir içi operasyonlarda gürültü ve yerleşim alanlarına yakın uçuşlar nedeniyle kabul sorunları oluşturabilir.

Offshore operasyonlarda sosyal boyut daha çok çalışan güvenliği, hizmet sürekliliği ve risk yönetimi üzerinden şekillenmektedir. Offshore personel taşımacılığında helikopterlerin sağladığı erişim avantajı, güvenli ve zamanında ulaşım bakımından önemli bir sosyal ve ekonomik değer üretmektedir. Bu nedenle sosyal boyut, yalnızca gürültü etkisiyle değil, kritik hizmetlerin sürekliliği ve toplumsal/kurumsal fayda ile değerlendirilmelidir.

### 5.6. Offshore ve HEMS Operasyonlarının Karşılaştırılması

Offshore ve HEMS operasyonları, helikopter sürdürülebilirliği açısından benzer çevresel sorunları paylaşmakla birlikte farklı operasyonel önceliklere sahiptir. Offshore operasyonlarda menzil, güvenlik ve hava koşulları öne çıkarken, HEMS operasyonlarında zaman baskısı, hasta yaşam şansı ve şehir içi toplumsal kabul daha belirleyicidir.

*Tablo 5. Offshore ve HEMS Operasyonlarının Sürdürülebilirlik Açısından Karşılaştırılması*

Karşılaştırma Boyutu	Offshore Operasyonlar	HEMS Operasyonları
Temel görev profili	Açık deniz platformlarına personel, ekipman ve lojistik erişim	Acil hasta transferi, olay yerine hızlı erişim ve kritik sağlık müdahalesi
Başlıca operasyonel baskı	Menzil, hava koşulları, helideck güvenliği, operasyon sürekliliği	Zaman baskısı, hayat kurtarma önceliği, hastane helipad erişimi
Çevresel baskı	Uzun uçuş segmentleri ve yüksek yakıt tüketimi	Kısa fakat yüksek frekanslı uçuşlar, şehir içi gürültü etkisi
Gürültü ve sosyal kabul	Genellikle açık deniz veya düşük nüfus yoğunluklu alanlarda daha sınırlı toplumsal etki	Yerleşim alanlarına yakın operasyonlar nedeniyle daha yüksek toplumsal duyarlılık

Teknolojik çözüm potansiyeli	Uzun menzil gereksinimi nedeniyle SAF, filo yenileme ve rota optimizasyonu daha uygulanabilir	Kısa menzil görevlerde hibrit-elektrik/eVTOL çözümleri daha erken uygulanabilir olabilir
Politika önceliği	Emniyet, bakım standardı, yakıt verimliliği ve platform erişim planlaması	Hizmet erişilebilirliği, gürültü yönetimi, uçuş gerekliliği değerlendirilmesi ve kamu iletişimi

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

## 5.7. Genel Değerlendirme

Bulgular, helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik hedeflerinin operasyonel gerçekliklerden bağımsız ele alınamayacağını göstermektedir. Sabit kanatlı ticari havacılıkta yakıt verimliliği, filo modernizasyonu ve SAF kullanımı gibi stratejiler merkezi bir konuma sahipken, helikopter operasyonlarında görev profili ve aciliyet düzeyi sürdürülebilirlik uygulamalarının sınırlarını doğrudan belirlemektedir.

Bu nedenle helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik dönüşümü çok katmanlı bir yaklaşım gerektirir. Kısa vadede rota optimizasyonu, bakım süreçlerinin iyileştirilmesi, yakıt yönetimi ve gürültü azaltıcı operasyon prosedürleri öne çıkmaktadır. Orta vadede hibrit-elektrik sistemler, SAF kullanımı ve düşük gürültülü rotor tasarımları önem kazanmaktadır. Uzun vadede ise eVTOL ve gelişmiş hava hareketliliği çözümleri belirli görev profillerinde mevcut helikopter operasyonlarını tamamlayıcı veya kısmen ikame edici rol üstlenebilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölüm, helikopter operasyonlarında sürdürülebilirlik paradoksunu offshore ve HEMS perspektifinden incelemiştir. Sistematik literatür taraması ve tematik analiz sonuçları, helikopter operasyonlarının çevresel, operasyonel ve sosyal boyutların kesişiminde şekillenen çok boyutlu bir sürdürülebilirlik yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Çevresel açıdan bakıldığında, yüksek yakıt tüketimi, karbon emisyonu ve gürültü etkisi helikopter operasyonlarının temel sorun alanlarıdır. Operasyonel açıdan ise görev esnekliği, zaman baskısı, emniyet gereksinimi ve erişilebilirlik helikopter kullanımını vazgeçilmez kılmaktadır. Sosyal açıdan ise HEMS operasyonlarının hayat kurtarma katkısı ve offshore operasyonlarının çalışan güvenliği açısından sağladığı değer, çevresel etkilerin tek başına karar kriteri olamayacağını göstermektedir.

Düzenleyici kurumlar için öneriler; helikopter operasyonlarına özgü emisyon ve gürültü izleme standartlarının geliştirilmesi, helipad ve helideck planlamasında sürdürülebilirlik ölçütlerinin güçlendirilmesi ve kritik görev operasyonlarında çevresel performansın emniyet gereksinimleriyle uyumlu biçimde ele alınmasıdır. Özellikle şehir içi HEMS operasyonlarında gürültü hassasiyet haritaları, uçuş koridorları ve kamu iletişim mekanizmaları önem taşımaktadır.

HEMS sağlayıcıları için öneriler; uçuş gerekliliği değerlendirme protokollerinin güçlendirilmesi, uygun vakalarda kara ambulansı-helikopter entegrasyonunun iyileştirilmesi, hastane helipad planlamasında gürültü azaltıcı yaklaşımın benimsenmesi ve görev sonrası yakıt/emisyon kayıtlarının düzenli izlenmesidir. Böylece hayat kurtarma önceliği korunurken çevresel ve sosyal etkiler daha sistematik biçimde yönetilebilir.

Offshore işletmeleri için öneriler; uçuş planlamasında rota ve yük optimizasyonunun artırılması, platform erişim planlarının meteorolojik risk ve yakıt verimliliğiyle birlikte değerlendirilmesi, filo yenileme süreçlerinde daha düşük emisyonlu helikopterlerin tercih edilmesi ve SAF kullanımının operasyonel uygunluk açısından pilot uygulamalarla test edilmesidir.

Helikopter operatörleri için öneriler; bakım süreçlerinde yakıt verimliliğini etkileyen performans göstergelerinin izlenmesi, pilot eğitimlerinde enerji verimli uçuş tekniklerine yer verilmesi, gürültü azaltıcı yaklaşma-kalkış prosedürlerinin geliştirilmesi ve hibrit-elektrik/eVTOL teknolojilerinin görev profili bazında değerlendirilmesidir.

Akademik çalışmalar açısından bakıldığında, helikopter operasyonlarının sosyal boyutuna ilişkin ampirik araştırmaların artırılması gerekmektedir. Özellikle HEMS operasyonlarında toplumsal kabul, gürültü algısı ve hizmet erişilebilirliği; offshore operasyonlarda ise güvenlik, çalışan refahı ve operasyonel sürdürülebilirlik konuları daha fazla incelenmelidir. Gelecekteki çalışmaların, offshore ve HEMS operasyonlarını karşılaştırmalı nicel modellerle değerlendirmesi ve eVTOL teknolojilerinin hangi görev profillerinde uygulanabilir olduğunu analiz etmesi literatüre önemli katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, helikopter operasyonlarının sürdürülebilirliği yalnızca teknolojik yeniliklerle çözülebilecek bir mesele değildir. Bu alan, operasyonel zorunlulukların, çevresel azaltım hedeflerinin, emniyet gereksinimlerinin ve toplumsal beklentilerin birlikte yönetildiği bütüncül bir dönüşüm sürecini gerektirmektedir.

## Kaynakça

- Babikian, R., Lukachko, S. P., & Waitz, I. A. (2002). The historical fuel efficiency characteristics of regional aircraft from technological, operational, and cost perspectives. *Journal of Air Transport Management*, 8(6), 389-400. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(02)00020-0)
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Budd, L., & Ison, S. (2020). Responsible transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6, 100151. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100151>
- Civil Aviation Authority. (2023). CAP 437: Standards for offshore helicopter landing areas. UK Civil Aviation Authority. <https://www.caa.co.uk/>
- Civil Aviation Authority. (2019). CAP 1264: Standards for helicopter landing areas at hospitals. UK Civil Aviation Authority. <https://www.caa.co.uk/>
- Dyllick, T., & Muff, K. (2016). Clarifying the meaning of sustainable business: Introducing a typology from business-as-usual to true business sustainability. *Organization & Environment*, 29(2), 156-174. <https://doi.org/10.1177/1086026615575176>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.
- European Commission. (2020). Reducing emissions from aviation. <https://climate.ec.europa.eu/>
- Filippone, A. (2012). *Advanced aircraft flight performance*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511996415>
- Garrow, L. A., German, B. J., & Leonard, C. E. (2021). Urban air mobility: A comprehensive review and comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 132, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103377>
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation. *Global Environmental Change*, 65, 102194. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>
- Guski, R., Schreckenber, D., & Schuemer, R. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1539. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121539>
- International Air Transport Association. (2025). Sustainable aviation fuel. <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/sustainable-aviation-fuel/>

- International Civil Aviation Organization. (2022). Long-term global aspirational goal (LTAG) for international aviation. <https://www.icao.int/environmental-protection/>
- Larsson, J., Elofsson, A., Sterner, T., & Åkerman, J. (2019). International and national climate policies for aviation: A review. *Climatic Change*, 152, 381-395. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2311-3>
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestedt, J., Gettelman, A., De León, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., ... Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Leishman, J. G. (2006). *Principles of helicopter aerodynamics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Niemann, H., Linke, F., & Gollnick, V. (2022). Hybrid-electric propulsion in aviation: Concepts, challenges and opportunities. *Aerospace*, 9(4), 198. <https://doi.org/10.3390/aerospace9040198>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rutherford, D., & Zeinali, M. (2020). Efficiency trends for new commercial jet aircraft, 1960 to 2019. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/>
- Schäfer, A. W., Barrett, S. R. H., Doyme, K., Dray, L., Gnad, A. R., Self, R., O'Sullivan, A., Synodinos, A. P., & Torija, A. J. (2019). Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, 4, 160-166. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-7>
- Straubinger, A., Rothfeld, R., & Shamiyeh, M. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility: Setting the scene for UAM introduction. *CEAS Aeronautical Journal*, 11, 237-253. <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00441-0>
- World Health Organization Regional Office for Europe. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region. World Health Organization. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>