

# Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) Kullanımının Havayolu İş Modellerine Etkisinin Swot Analizi İle Değerlendirilmesi

Gözde Güven<sup>1</sup>

## Özet

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) kullanımının mevcut uçak ve yakıt altyapısıyla uyumlu olması ve yaşam döngüsü emisyonlarını azaltma potansiyeli nedeniyle havacılığın kısa ve orta vadeli karbonsuzlaşma seçenekleri arasında öne çıkmaktadır. Yüksek üretim maliyeti, sınırlı arz, hammadde rekabeti ve bölgesel tedarik farklılıkları SAF adaptasyonunun her havayolu iş modelinde aynı sonuçları üretmesini engellemektedir. SAF kullanımının farklı havayolu iş modelleri üzerindeki stratejik etkileri doküman incelemesine dayalı nitel bir SWOT analizi benimsenmiştir. Çalışmada literatür, uluslararası havacılık kuruluşlarının raporları ve düzenleyici çerçeveler üzerinden elde edilen bulgular tam hizmet, düşük maliyetli, tarifersiz/charter ve bölgesel havayolu iş modellerine göre değerlendirilmiştir. Tam hizmet veren havayollarının marka değeri, kurumsal müşteri portföyü ve yeşil finansmana erişim bakımından görece avantajlı olduğunu; düşük maliyetli havayollarının ise maliyet liderliği stratejisi nedeniyle SAF fiyat artışlarına daha hassas olduğunu göstermektedir. Charter ve bölgesel havayollarında talep yapısı, filo ölçeği, rota özellikleri ve SAF tedarik erişimi belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Havacılık sektörü, küresel ekonomik büyüme ve uluslararasılaşma açısından stratejik öneme sahip olmakla birlikte, fosil yakıtlara bağımlı yapısı nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik tartışmalarının da merkezinde yer almaktadır. Artan hava taşımacılığı talebi ve iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında

1 Bağımsız Araştırmacı, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kamu Politikası ve İşletmeciliği Ana Bilim Dalı, gozdegüvenn0@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1771-1186>

benimsenen net sıfır emisyon hedefleri, sektörün enerji kaynaklarını yeniden değerlendirmesini gerekli kılmaktadır. Fayda maliyet açısından yüksek, güvenli ve temiz enerjiye erişim günümüzün temel zorluklarından biri olup, özellikle ulaşım sektöründe alternatif enerji çözümlerine yönelik arayışlar giderek hız kazanmaktadır (Alpman ve Göğüş, 2017). Bu kapsamda, hava ve kara taşımacılığında sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmakta; havacılık sektörünün yakıt ihtiyacını karşılayabilecek yerli, erişilebilir ve sürdürülebilir kaynaklara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır (Lee et al., 2021).

Havacılık sektöründe kullanılan yakıtların yüksek enerji yoğunluğuna, iyi akış özelliklerine ve termal kararlılığa sahip olması gerekmektedir (ASTM, 2022; ICAO, 2023). Bu teknik gereklilikleri karşılayan yakıtların aynı zamanda gıda üretimiyle rekabet etmemesi, ekosistem üzerinde olumsuz etki yaratmaması ve ormansızlaşma gibi arazi kullanım değişikliklerine yol açmaması beklenmektedir (IPCC, 2022; FAO, 2021). Bu bağlamda, sürdürülebilir havacılık yakıtları (SAF), yaşam döngüsü boyunca düşük veya nötr karbon emisyonu sağlama potansiyeli nedeniyle öne çıkmaktadır (IEA, 2023; IATA, 2025). Bununla birlikte, SAF üretiminde kullanılan biyokütle ve atık temelli hammaddelerin çeşitliliği, yakıt tedarik zincirinin esnekliğini artırmakta ve alternatif yakıt seçeneklerinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır (Staples et al., 2018). Ancak bu süreçte ekonomik sürdürülebilirlik ve üretim maliyetleri sınırlayıcı faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Havacılıkta SAF kullanımının etkinliği yalnızca teknik kapasiteye değil, aynı zamanda havayolu iş modellerinin yapısal özelliklerine de bağlıdır. Rekabetin yoğun olduğu havayolu piyasasında iş modelleri; hedef müşteri kitlesi ve operasyonel yapı açısından farklılaşmakta, bu durum SAF adaptasyon süreçlerini de etkilemektedir (Gössling ve Humpe, 2020; Abate et al., 2020). Bu nedenle, özellikle yüksek rekabet baskısı altında faaliyet gösteren havayolu iş modellerinde SAF kullanımının stratejik önemi daha da artmaktadır. SAF kullanımının havayolu iş modelleri üzerindeki etkilerini stratejik bir bakış açısıyla inceleyen ve bu etkileri SWOT analizi çerçevesinde değerlendiren çalışmada, SAF'ın havayolu işletmelerine yansımalarını ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu kapsamda SAF adaptasyonunu tek bir genel sektör değerlendirmesi yerine tam hizmet, düşük maliyetli, tarifersiz/charter ve bölgesel havayolu iş modelleri açısından ayrı ayrı ele alınmıştır. SAF'ın maliyet, tedarik, regülasyon, marka konumlandırması ve operasyonel esneklik üzerindeki etkilerinin iş modeli özelliklerine göre nasıl farklılaştığını daha görünür kılmaktadır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

### 2.1. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF)

Küreselleşme enerji talebinde yapısal ve sürekli bir artışı beraberinde getirmektedir. İktisadi yapı ve sanayileşmedeki her %1'lik artışın, toplam enerji tüketiminde ortalama %1,7'lik bir yükselişe yol açması, mevcut büyüme dinamiklerinin enerji yoğun üretimi açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, sürdürülebilir alternatiflerin yeterince yaygınlaşmadığı koşullarda, fosil yakıt bağımlılığını azaltmak yerine pekiştirme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, uzun vadeli karbonsuzlaştırma hedeflerine ulaşılabilmesi, yalnızca enerji arzının değil, aynı zamanda eğitim, sanayi ve teknoloji sistemlerinin de dönüşümünü içeren bütüncül bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve temiz teknoloji inovasyonlarının desteklenmesi kritik öneme sahiptir. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) teknolojileri, yapısal dönüşüm süreçlerinin azaltılması zor olan sektörlerinden biri olan havacılıkta, küresel enerji-emisyon dengesizliğine hem teknik hem de stratejik bir yanıt olarak öne çıkmaktadır (Yılmaz ve Atmanlı,2017).

Havacılık sektörü, artan küresel hareketlilik, ticaret ve turizm faaliyetleri doğrultusunda yıllık yaklaşık %4,5 oranında büyüme eğilimi göstermektedir. Bu büyüme; istihdam yaratma, uluslararası ticaretin kolaylaştırılması, kültürel etkileşim ve afet müdahalesi gibi önemli sosyoekonomik faydalar sağlasa da sektörün küresel sera gazı emisyonlarındaki payının yaklaşık %5 seviyesinde olması, karbonsuzlaştırma gerekliliğini kritik bir öncelik haline getirmektedir. Bununla birlikte, havacılıkta kullanılan yakıtların yüksek enerji yoğunluğu gereksinimi, alternatif enerji çözümlerinin uygulanabilirliğini sınırlandırmakta ve sektörü büyük ölçüde sıvı hidrokarbonlara bağımlı kılmaktadır. Yakıt fiyatlarındaki değişkenlik ve hava trafiğindeki artış da bu bağımlılığı daha da stratejik bir sorun haline getirmektedir. Bu çerçevede, sektörün artan enerji talebini karşılayabilen ve aynı zamanda çevresel etkileri azaltabilen çözümlere yönelmesi kaçınılmazdır. Bu noktada SAF, mevcut uçak ve yakıt altyapısıyla uyumlu olması sayesinde, kısa ve orta vadede uygulanabilir en önemli karbonsuzlaştırma araçlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Wang, Zhao ve Zhao, 2024).

SAF'lar, günümüzde ticari havacılıkta kullanılan sıvı yakıtlardır ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını %80'e kadar azaltabilme potansiyeline sahiptir. SAF'lar, fosil bazlı jet yakıtlarıyla aynı hidrokarbonları içerdiğinden, egzoz (yanma) emisyonları benzer özellik göstermektedir. Ancak temel fark, bu hidrokarbonların daha sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesidir. SAF, atık yağlar ve gresler, belediye

katı atıkları, tarımsal ve ormancılık kalıntıları, ıslak atıklar ve marjinal arazilerde yetiştirilen gıda dışı bitkiler gibi çeşitli hammaddelerden üretilmektedir. Ayrıca, doğrudan havadan karbon yakalama süreçleri kullanılarak sentetik olarak da üretilmektedir (IATA,2025).

Fosil yakıtlar, daha önce yer altında depolanmış karbonu atmosfere salarak toplam CO<sub>2</sub> seviyesini artırırken, SAF'lar döngüsel bir yapı sergileyerek karbonu yeniden kullanır. Bu kapsamda, SAF üretiminde kullanılan biyokütle, yaşam döngüsü boyunca CO<sub>2</sub>'yi absorbe eder ve böylece karbonun atmosfere net katkısı azaltılmış olur. Bu kapsamda SAF, biyokütle, organik atık veya havadan doğrudan CO<sub>2</sub> yakalama yoluyla üretilen yenilenebilir sıvı yakıtları ifade etmektedir. Sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan sentetik yakıt veya biyoyakıt, jet yakıtının yerine kullanılabilen ikameleri olmaktadır. Yakıtın SAF olarak kabul edilmesi için çeşitli sürdürülebilirlik kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterleri şu şekilde sıralamak mümkündür (IATA,2025):

- Yaşam döngüsü boyunca sera gazı ve karbon ayak izi emisyonlarının azaltılması,
- Hammaddelerin gıda üretimiyle rekabet etmemeli,
- Biyolojik çeşitliliğin korunması,
- Su ve toprak kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi gibi çevresel kriterler de SAF üretiminin temel belirleyicileri arasında yer almaktadır.

SAF üretiminde kullanılan Fischer-Tropsch (FT), hidroişlem görmüş esterler ve yağ asitleri, sentezlenmiş izoparafirik yakıt ve Alkolden Jete dönüşüm gibi farklı teknolojik yollar, hammadde türüne ve üretim koşullarına bağlı olarak çeşitli avantaj ve sınırlılıklar sunmaktadır. Örneğin, HEFA süreci ekonomik açıdan daha avantajlı bir seçenek olarak öne çıkarken, diğer bazı yöntemlere kıyasla nispeten daha yüksek yaşam döngüsü emisyonlarına sahip olabilmektedir. Bu nedenle, SAF üretiminde tek bir optimal yöntemden söz etmek mümkün olmayıp, bölgesel kaynaklar, teknolojik altyapı ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda çoklu üretim yollarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Watson, Machado, Da Silva, Salter, Riberio, Nascimento ve Dowling, 2024).

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF)'ın gerçekten "sürdürülebilir" olarak değerlendirilebilmesi, yalnızca sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline değil, aynı zamanda üretim süreçlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerine de bağlıdır. Bu kapsamda, Roundtable on Sustainable Biomaterials tarafından geliştirilen ilkeler ve kriterler, SAF üretiminin sürdürülebilirliğini değerlendirmede uluslararası kabul görmüş bir çerçeve sunmaktadır (IATA,2025).

*Tablo. 1 RSB İlkeleri*

Kategori	Kriterler
Hukuki	Yasal uygunluk
	Arazi hakları
Sosyal	İnsan ve işçi hakları
	Kırsal ve sosyal kalkınma
	Yerel gıda güvenliği
Çevresel	Sera gazı emisyonları
	Biyolojik çeşitliliğin korunması
	Toprak
	Su ve su hakları
	Hava
Yönetim ve Teknik	Planlama, izleme ve sürekli iyileştirme
	Teknoloji kullanımı, girdiler ve atık yönetimi

*Kaynak: IATA (2025), Sustainable Aviation Fuel Roadmap Report*

RSB ilkeleri, SAF'ın yalnızca alternatif bir yakıt olmasının ötesinde, sürdürülebilir bir enerji dönüşüm aracı olarak değerlendirilmesinde kritik bir referans noktası oluşturmaktadır.

## 2.2. SAF Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

SAF üretim sürecinde amaç, kerosen bazlı havacılık yakıtının ana bileşeni olan sentetik parafinik (petrolden elde edilen mineral yağ) kerosen (SPK) elde etmektir. SPK'dan üretilen yakıtın aromatikler ve halkalı zincirli alkanlardan yoksun olması sebebiyle geleneksel kerosen bazlı havacılık yakıtı ile harmanlanması gerekmektedir. Buna rağmen, SAF karbon emisyonlarının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunur ve yaşam döngüsü sera gazı emisyonları geleneksel havacılık yakıtı emisyonlarına göre daha düşüktür (Wang vd., 2024). Hammadde seçimi kökenine ve özelliklerine bağlı olarak SAF kategorisinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Potansiyel hammaddenin sahip olması gereken bazı temel özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Bonicontró et al., 2025):

- Hammaddenin bulunabilirliği,
- Gıda üretimini etkilememesi,
- Optimal düzeyde çevresel ayak izidir.

SAF üretiminde kullanılan hammadde kaynakları birinci, ikinci ve üçüncü nesil olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu hammadde kaynaklarını şu şekilde ele almak mümkündür (Lau vd., 2024):

- Birinci Nesil; Yenilebilir bitkisel yağlar gibi birinci nesil hammaddeler, SAF gelişiminin erken aşamalarında çok önemli olmuş ve havacılık endüstrisinin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya yönelik ilk yolu sunmuştur. Birinci nesil lipid hammaddeleri, C8 ila C18 karbon zincirleri arasında değişen yağ asitleri içermektedir. Genellikle izomerik formda bulunan hem doymuş hem de doymamış yağ asidi bağlarını kapsamaktadır. Bu hammaddelerdeki yağ asidi bileşimi, zincir uzunluğu ve doymamışlık derecesi de dahil olmak üzere, hidroişlem ile ürün verimini ile seçiciliğini verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Lipit hammaddelerinin karbon zincir uzunluğu, ortaya çıkan HC'lerin ve SAF'ın özelliklerini de önemli ölçüde etkiler. Bu daha düşük yakıt donma noktası, sıcaklıkların önemli ölçüde düşebildiği yüksek rakımlarda yaşanan soğuk koşullar altında yakıtın akışkan ve kararlı kalmasını sağlamak için gereklidir. Daha yüksek donma noktalarına sahip yakıtlar, yakıt hatlarını tıkayabilen, yakıt akışını bozabilen ve ciddi bir motor arızası riski oluşturabilen katılaşmaya veya mum kristali oluşumuna daha yatkındır.
- İkinci Nesil; ikinci nesil lipid hammaddeleri, bitkilerden elde edilen yenilebilir olmayan yağları, kullanılmış yemeklik yağı (UCO) ve endüstriyel atık akışlarından geri kazanılan yağı kapsamaktadır. Bu hammaddeler, gıda ürünleriyle rekabet etmedikleri için sürdürülebilirlik ve karbon ayak izi azaltımı açısından önemli avantajlar sunarak kritik "gıda mı yakıt mı" ikilemini çözmektedir. UCO, en çok araştırılan ikinci nesil lipid hammaddelerinden biridir. Farklı bölgelerde tercih edilen yemeklik yağ türlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Örneğin, özellikle palmiye yağının yaygın olarak üretildiği ve yemek pişirmek için kullanıldığı Güneydoğu Asya'da, özellikle Malezya ve Endonezya'da, toplanan UCO tipik olarak yüksek miktarda palmitik asit ve oleik asit içermektedir. Yenilebilir olmayan bitkisel yağların SAF için kullanımı, yenilenebilir doğaları, yüksek lipid içerikleri ve geleneksel jet yakıtlarına benzer özelliklere sahip HC'ler üretme yetenekleri nedeniyle SAF üretimi, geleneksel ikinci nesil hammaddelerin ötesine geçerek önemli avantajlar sunmaktadır.
- Üçüncü Nesil; üçüncü nesil hammaddeler, özellikle mikroalgler, SAF üretimi için potansiyel bir lipid hammaddesi kaynağı olarak önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Mikroalgler, yüksek lipid içeriği, hızlı

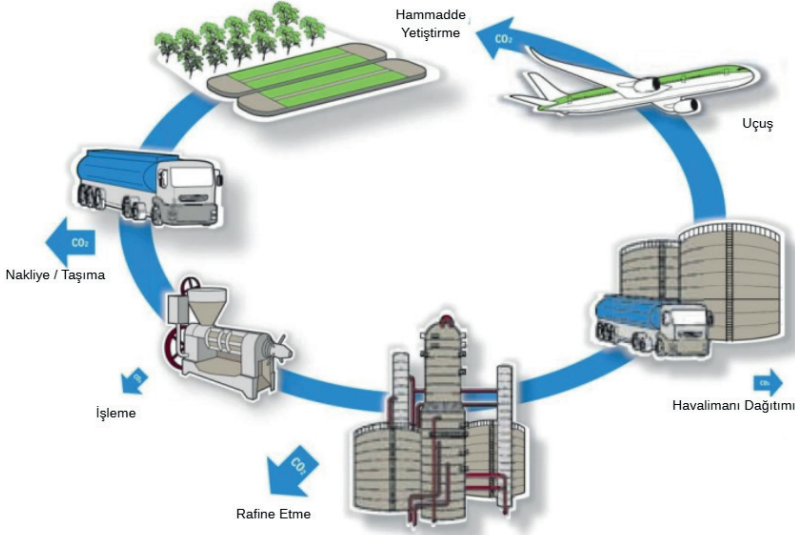
büyüme ve tarıma elverişli olmayan arazilerde gelişebilme yeteneği gibi çeşitli avantajlar sunarak gıda ürünleriyle rekabeti en aza indirmektedir. Bazı mikroalgler, geleneksel lipit kaynaklarında nispeten nadir bulunan pentadekanoik asit ve heptadekanoik asit gibi az miktarda tek zincirli yağ asidi (OCFA) üretir. OCFA'ların oksidatif stabiliteyi ve yanma özelliklerini iyileştirdiği ve böylece daha verimli ve daha temiz yanan biyoyakıtların üretimine katkıda bulunduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra bazı mikroalg türleri, düz zincirli muadillerine kıyasla biyoyakıtların çeşitli kritik özelliklerini iyileştirdiği bilinen izo- ve anteizo-yag asitleri de dahil olmak üzere dallı zincirli yağ asitleri (BCFA) üretmektedir. Özellikle BCFA'lar oksidatif stabiliteyi ve soğuk akış özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra daha yüksek oktan değerleri ve daha düşük bulanıklık noktaları sunar; bu da özellikle jet motoru uygulamaları için avantajlıdır. BCFA esterlerinin biyodizel ile karıştırılmasının motor performansını iyileştirdiği ve egzoz emisyonlarında, özellikle azot oksitlerde (NOx) ile karbon oksitlerde (COx) azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Bu yağ, yüksek yağ verimi ve düşük donma noktası nedeniyle soğuk koşullar altında yakıt kalitesini korumak için havacılık alanında avantaj sağlamaktadır.

*Tablo.2 SAF Üretiminde Kullanılan Hammaddeler*

Birinci Nesil	İkinci Nesil	Üçüncü Nesil
Palm Yağı	Kullanılmış kızartma yağları	Chlorella Vulgaris
Hindistan Cevizi Yağı	Jatropha curcas yağı	Nannochloropsis
Soya Yağı	Ricinus communis yağ	Botryococcus Braunii
Kolza Yağı	Brassica carinata	Scenedesmus
Hurma Çekirdeği Yağı	Tarımsal atıklar	Schizochytrium

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Biyoyakıt üretiminde kullanılan hammaddeler, teknolojinin gelişimine paralel olarak çeşitlenmiş ve daha sürdürülebilir kaynaklara yönelmiştir. SAF üretiminde kullanılan hammaddeler geleneksel fosil yakıtların aksine, burada yakıt yanarken çıkan karbon, yakıtın hammaddesi olan bitkiler tarafından tekrar emildiği için atmosfere sera gazı ve karbon ayak izi emisyonu salınmamış (net sifira yakın) kabul edilir (Yaşar ve Onat,2025).



Şekil.1 SAF Yaşam Döngüsü

**Kaynak:** Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2025). *Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) HAP Bilgi Notu*.

SAF üretim sürecinde; tarımsal faaliyetler, hammaddelerin taşınması ve yakıtın rafinasyonu gibi aşamalardan kaynaklanan emisyonlar da ortaya çıkmaktadır. Bu unsurlar hesaba katıldığında dahi, SAF kullanımının fosil yakıtlara kıyasla toplam yaşam döngüsü CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı ve bazı durumlarda bu azalmanın %80'e kadar ulaşabildiği gösterilmektedir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, sürdürülebilir şekilde üretilmiş alternatif jet yakıtları, yaşam döngüsü boyunca karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarında önemli ölçüde azalma sağlamaktadır. Biyokütlenin büyüme sürecinde bitkiler tarafından emilen CO<sub>2</sub> miktarı, yakıtın yanma sırasında atmosfere saldırdığı CO<sub>2</sub> miktarına yaklaşık olarak eşdeğerdir. Bu durum, SAF'ın yaşam döngüsü perspektifinde yaklaşık karbon-nötr bir özellik sergilemesine olanak tanımaktadır (IATA,2025).

Ayrıca SAF, daha düşük kükürt ve diğer safsızlıkları içerdiğinden, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve partikül madde emisyonlarında da mevcut teknolojilere kıyasla ilave azalmalar sağlamaktadır. Özellikle belediye atıklarından üretilen SAF söz konusu olduğunda, çevresel kazanımlar yalnızca fosil yakıt kullanımının önlenmesinden değil, aynı zamanda bu atıkların düzenli depolama alanlarında ayrışarak herhangi bir fayda üretmeden çevreye zarar vermesinin engellenmesinden de kaynaklanmaktadır. Bu sayede, atıkların

enerjiye dönüştürülmesi yoluyla hem kaynak verimliliği artırılmakta hem de havacılık sektörünün karbon ayak izi azaltılmaktadır. Her ne kadar hazır yakıtların bileşimi geleneksel yakıtlara benzer olsa da istenen performansı elde etmek için hazır yakıtlar geleneksel yakıtlarla karıştırılmalıdır. Yakıttaki aromatik içeriğinin yanma sırasında partikül madde (PM) emisyonlarının bir göstergesi olduğunu ve daha düşük aromatik konsantrasyonunun daha düşük PM emisyonlarına yol açacağını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, aromatik içeriği motor uyumluluğunda birincil bir faktördür; bu nedenle, alternatif yakıtlar her zaman ticari yakıtlarla karıştırılır. Hazır yakıtlar, petrol benzini, dizel veya jet yakıtına benzer özelliklere ve standartlara sahip olmalıdır. Üretimin hammaddesi, hazır yakıtların bileşimini belirleyecektir. Jet yakıtının bileşimini, uçuculuğunu, akışkanlığını, yoğunluğunu ve diğer özelliklerini de belirlemiştir (Mariyam, Alherbawi, McKay ve Al-Ansari, 2026).

### 2.3. Küresel SAF Regülasyonları ve Politikalar

Havayolu şirketleri, 2021 yılında gerçekleştirilen 77th International Air Transport Association Annual General Meeting kapsamında 2050 yılına kadar net sıfır karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonuna ulaşma taahhüdünde bulunmuştur. Bunu takiben, International Civil Aviation Organization üye devletleri de 2022 yılında havacılıktan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının 2050 yılına kadar net sifira indirilmesini hedefleyen uzun vadeli bir aspirasyonel hedef (LTAG) üzerinde uzlaşmıştır. Bu taahhütler, sektörün ve genel olarak bağlantısallığın ekonomik kalkınma açısından vazgeçilmez olduğu yönündeki güçlü kanaatten kaynaklanmaktadır. Hava taşımacılığı, United Nations Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın 17 hedefinden 15'ine doğrudan katkı sağlamakta olup, özellikle "Yoksulluğa Son" hedefi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilirliğin sağlanması için 2050 yılına kadar sektörün öngörülen trafik hacmi, geleneksel jet yakıtı kullanılması durumunda yaklaşık 1,8 milyar ton karbon emisyonu üretebilecektir. Net sıfır emisyon hedefine ulaşılabilmesi için toplam emisyon azaltımının yaklaşık %65'inin Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) kullanımıyla sağlanması beklenmektedir. Bu ise 2050 yılı itibarıyla yıllık 360 milyon tonun (yaklaşık 450 milyar litre) üzerinde SAF üretimini gerektirmekte olup, tüm sürdürülebilir hammadde kaynaklarının etkin biçimde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (IATA,2026a).

Havayollarının ve sektör paydaşlarının 2050 yılına kadar net sıfır CO<sub>2</sub> emisyonuna ulaşma hedefi, yalnızca hava taşımacılığı sektörünü ilgilendiren bir konu olarak değerlendirilmemelidir. Havacılığın enerji dönüşümü, küresel enerji dönüşümünün ve Paris Anlaşması kapsamında küresel sıcaklık artışını sınırlandırmaya yönelik uluslararası çabaların ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan politika yol haritaları, stratejik

politika sıralamasının önemine dikkat çekerken, havacılık sektörü dışındaki paydaşları da kapsayan geniş kapsamlı bir uluslararası iş birliğinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, gelecekte oluşacak küresel Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) pazarına tüm ülkelerin katılımını sağlayabilecek tek tip bir politika yaklaşımının bulunmadığı ve ülkelerin kendi koşullarına uygun çözümler geliştirmesi gerektiği kabul edilmektedir (IATA,2026b).

SAF'ın ticari ölçekte üretimini ve kullanımının hızlandırılması için etkili politika araçlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, arz yönlü teşvikler en etkili politika araçları arasında görülmekte ve kamu kaynaklarının çeşitli destek mekanizmaları aracılığıyla SAF üretimine yönlendirilmesini içermektedir. Söz konusu teşvikler, yatırım ve proje risklerini azaltırken SAF üretimini fırsat maliyetini düşürmekte, böylece arz ve talebin doğal biçimde gelişebileceği sürdürülebilir bir pazar yapısının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, Uzun Vadeli Küresel Hedefin (LTAG) kabul edilmesiyle birlikte hükümetler, havacılık sektörünün karbonsuzlaştırılması konusunda ortak bir hedef etrafında birleşmiş ve SAF kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik ortak bir çıkar geliştirmiştir. Bu nedenle, SAF üretimi ve kullanımını destekleyecek kapsamlı politika ve teşvik mekanizmalarının oluşturulması kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (IATA,2026c).

Benzer şekilde, ICAO tarafından yürütülen CAAF/3 süreci kapsamında hükümetler, 2030 yılına kadar SAF kullanımı yoluyla havacılık kaynaklı emisyonlarda %5 oranında azalma sağlama hedefi üzerinde uzlaşmıştır (ICAO, 2023). Bu hedef, küresel ölçekte SAF kullanımını destekleyen somut politikaların geliştirilmesi gerektiğine yönelik güçlü bir mesaj niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, havayollarına belirli miktarda SAF kullanma zorunluluğu getiren düzenlemeler, özellikle maliyetleri dengeleyici teşvik mekanizmalarıyla desteklenmediği sürece, sektör tarafından her zaman olumlu karşılanmamaktadır. Nitekim IATA, zorunlu kullanım uygulamalarının tek başına en uygun ekonomik sonucu üretmediğini, çoğu durumda maliyet ve fiyat artışlarına yol açarak çevresel yatırımlara aktarılacak kaynakları sınırlandırdığını belirtmektedir (IATA, 2025). SAF politikalarının uygulanmasında bölgesel farklılıklar da dikkat çekmektedir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri ile Avrupa Birliği, SAF kullanımının teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda farklı politika araçları ve düzenleyici yaklaşımlar benimsemektedir. Bu yaklaşımlarla hedefe ulaşılması için yalnızca havacılık sektörü aktörlerinin çabalarıyla mümkün olmayıp, aynı zamanda kamu otoriteleri ve değer zincirindeki tüm paydaşların koordineli desteğini gerektirmektedir. Özellikle devlet politikalarının, SAF üretimini ölçeklendirilmesini teşvik edecek düzenleyici ve finansal mekanizmaları içerecek şekilde tasarlanması

kritik öneme sahiptir (IATA, 2025; European Commission, 2023; U.S. DOE, 2023).

#### 2.4. Havayolu İş Modelleri

İş modelleri, bir işletmenin nasıl değer yarattığını, sunduğunu ve bu değerden nasıl fayda sağladığını açıklayan yapılar olarak tanımlanmaktadır (Tece, 2010) Özellikle karmaşık ve sürekli değişen pazarlarda rekabet avantajını sürdürmeye çalışan yöneticiler için iş modelleri kritik bir öneme sahiptir (Markides & Charitou, 2004). İş modelleri, tüketici tercihleri, işlem maliyetleri, üretici ve tüketiciler arasındaki farklılıklar ile rekabetin bulunduğu piyasa ekonomilerinin temel unsurlarından biridir. Rekabetçi piyasalarda faaliyet gösteren ve kâr amacı güden işletmeler, tüketicilerin farklı ihtiyaç ve beklentilerini karşılayabilmek için sürekli olarak yeni değer önerileri geliştirip sunmaya çalışmaktadır. İş modelleri çoğu zaman, teknolojik yeniliklerin ortaya çıkardığı fırsatlardan doğmakta; bu yenilikler hem yeni buluşların pazara sunulmasını hem de daha önce karşılanmamış müşteri ihtiyaçlarının giderilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, yeni iş modelleri yalnızca yeniliklerin sonucu değil, aynı zamanda başlı başına bir yenilik türü olarak da değerlendirilebilir. İşletmeler için çok sayıda iş modeli alternatifi bulunmakta olup, bazı modeller belirli müşteri ihtiyaçlarına ve iş çevrelerine diğerlerinden daha iyi uyum sağlamaktadır. Bu nedenle uygun iş modelinin seçilmesi, geliştirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi karmaşık ve dinamik bir süreçtir. Etkili iş modeli tasarımları büyük ölçüde içinde bulunulan koşullara bağlıdır ve çoğu zaman tekrar eden değerlendirme ve geliştirme aşamalarını içerir. Tarihsel deneyimler de göstermektedir ki yeni iş modelleri hem yeniliğin ortaya çıkmasını kolaylaştırmakta hem de yeniliğin kendisini temsil etmektedir (Tece, 2010). İş modellerinin işletmelerin rekabet avantajı elde etmesi ve sürdürmesindeki kritik rolü, yoğun rekabetin ve değişen müşteri beklentilerinin hâkim olduğu havacılık sektöründe daha da belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle havayolu işletmeleri, farklı pazar segmentlerine hitap edebilmek ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağlayabilmek amacıyla çeşitli iş modelleri geliştirmiştir. Bu kapsamda havayolu iş modellerini şu şekilde ele almak mümkündür:

- Geleneksel Havayolları: Tam hizmet sunan havayolu ya da ağ taşıyıcısı olarak da adlandırılan bu havayolları, geniş coğrafi bir alanda genellikle merkez-uydu ağ yapılanması ile ulusal, uluslararası ve küresel pazarlarda hizmet vermektedir. Bu havayolları farklı sınıflarda hizmet sunmakta ve oldukça karmaşık hizmet tasarımlarına sahiptirler. Bağlantılı ve uzun uçuşlar, büyük ve karmaşık filo yapısı, direkt dağıtım yanında satış ofisleri ve seyahat acenteleri yoluyla satış ve dağıtım gibi karmaşık hizmet

süreçleri karmaşık planlama ve operasyonel sistemleri gerektirmektedir (Auerbach ve Delfmann, 2005).

- **Düşük Maliyetli Havayolları:** Düşük fiyatlı havayolları, ikramsız havayolları ve bütçe havayolları şeklinde farklı isimlerle ele alınabilen bu modelin temeli geleneksel havayollarının sundukları hizmetlerin bazılarında vazgeçerek düşük maliyetlere ulaşan ve sonucunda düşük fiyata ve ücrete duyarlı yolculara sunulan basit hizmet tasarımına dayanmaktadır (Şengür ve Şengür, 2017; Franke, 2004). Geleneksel taşıyıcıların aksine birden fazla hizmet sınıfı yerine tek hizmet sınıfı; genellikle ikramsız, düşük düzeyde ya da ücretli ikram konsepti; doğrudan dağıtım kanallarına yoğunlaşma, noktadan noktaya ve nispeten kısa hat seçimi; tek tip filo kullanımı ve yoğun birincil havaalanları yerine ikincil havaalanlarının seçilmesi bu iş modelinin özellikleri içinde yer almaktadır.
- **Tarifersiz (charter) Havayolları:** Genellikle paket tatil tur acentelerine uçaktaki boş koltukların tamamını ya da bir bölümünü blok satış şeklinde satan veya uçaklarını kiraya vererek gelir elde eden, olabildiğince düşük maliyetler ile basit hizmet tasarımına sahip olan havayolu işletmeleridir (Şengür ve Şengür, 2017).
- **Bölgesel Havayolları:** Genellikle küçük ya da talebin yetersiz olduğu yerlerden merkezi havaalanlarına bağlantı hizmeti veren, coğrafi odaklı, kısa mesafede nispeten küçük yolcu uçaklarıyla havayolu hizmeti sunan işletmelerdir (Şengür ve Şengür, 2017). Diğer iş modellerinin belirli ve dar alanlarda uygulanmasıdır. Tek bir bölgeyi hedef aldığı için odaklanma olarak da tanımlanmaktadır. Amaç düşük fiyatlarla, kısıtlı bir alanda bulunan yolcu profilinin ihtiyaçlarını karşılamak, farklılığını ortaya koymak ve aynı zamanda maliyeti düşük satışlar gerçekleştirmektir. Hedef alınan pazarın belirli bir alanda olması ve belirli bölgedeki farklı yolcu profillerinin belirlenmesi ve her birinin tercih edebileceği farklı hizmetlerin sunulması durumları ortak özellikleridir (Adiloğlu Yalçınkaya, 2021).

**Tablo 3. Düşük Maliyetli Havayolları (LCC) ile Tam Hizmet Veren Havayollarının (FSA) Operasyonel ve Ticari Özelliklerinin Karşılaştırılması**

Özellik	Düşük Maliyetli Havayolları (LCC)	Tam Hizmet Veren Havayolları (FSA)
Ağ Yapısı	Noktadan noktaya (point-to-point)	Merkez-çevre (hub-and-spoke)
Filo Yapısı	Tek tip veya yüksek düzeyde standartlaştırılmış	Çeşitlendirilmiş
Belly Cargo Taşımacılığı	Sınırlı düzeyde veya hiç bulunmaz	Yaygın olarak uygulanır
Havaalanları	İkincil ve daha az yoğun havaalanları	Birincil ve büyük ölçekli havaalanları
Hizmet Kapsamı	Temel hizmetler; ek hizmetler ücretlendirilir	Hizmetlerin büyük bölümü bilete dâhildir
Kabin ve Koltuk Düzeni	Daha yüksek koltuk yoğunluğu, sınırlı konfor özellikleri	Daha geniş koltuk aralığı ve yüksek konfor düzeyi
Gelir Yönetimi ve Fiyatlandırma	Basit fiyatlandırma ve tek sınıflı hizmet yapısı	Gelişmiş gelir yönetimi ve farklılaştırılmış hizmet sınıfları
Ücret Düzeyi ve Yan Hizmetler	Düşük bilet fiyatları, ücretli ek hizmetler	Daha yüksek bilet fiyatları, kapsamlı yan hizmetler
Kod Paylaşımı	Sınırlı düzeyde	Yaygın düzeyde
Yolcu Programları	Sınırlı veya temel düzeyde	Kapsamlı ve gelişmiş
Dağıtım ve Satış Kanalları	Doğrudan satış kanalları (web sitesi, mobil uygulama)	Doğrudan satış kanalları ile seyahat acenteleri ve küresel dağıtım sistemleri (GDS)

*Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Düşük maliyetli havayolları (LCC'ler), merkez-çevre (hub-and-spoke) sisteminin beraberinde getirdiği operasyonel karmaşıklıklardan kaçınmak amacıyla noktadan noktaya (point-to-point) ağ yapısını benimsemektedir. Bu karmaşıklıklar; uçuş programlarının koordinasyonu, daha uzun uçak dönüş süreleri, zincirleme gecikmelere karşı yüksek hassasiyet, havaalanı tıkanıklığı ile yolcu ve bagaj transferlerinin yönetiminde ortaya çıkan lojistik zorlukları kapsamaktadır. Buna karşılık, tam hizmet veren havayolları (FSA'lar), merkezi bir havaalanının çok sayıda çevre havaalanını birbirine bağladığı merkez-çevre sistemini temel operasyonel strateji olarak kullanmaktadır (Smith ve Cox, 2012). Operasyonların merkez havaalanında yoğunlaştırılması sayesinde FSA'lar, büyük şehirlere daha sık uçuş gerçekleştirebilmekte ve daha az sayıda rota ile çok sayıda destinasyonu birbirine bağlayabilmektedir. Bu durum, ağ kapsamını genişletirken yolcuların uçuş seçeneklerine erişimini de artırmaktadır.

Ayrıca, farklı çevre havaalanlarından gelen yolcuların merkezde toplanması, havayollarına yoğunluk ekonomilerinden yararlanma imkânı sağlamaktadır (Brueckner ve Zhang, 2001). Bununla birlikte, lojistik ve ekonomik sınırlamalar aynı havaalanında birden fazla havayolu merkezinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmakta ve merkez havaalanlarındaki rekabet düzeyini azaltmaktadır. Rekabetin azalması ise talebin daha az fiyat duyarlı hâle gelmesine neden olmakta, bunun sonucunda da bilet fiyatları yükselirken hizmet kalitesinde düşüşler görülebilmektedir (Berry vd., 1996).

LCC'lerin temel maliyet avantajlarından biri, filolarını tek tip uçaklardan oluşturmasıdır. Filo standardizasyonu, bakım ve pilot eğitim maliyetlerini azaltırken uçakların farklı rotalar arasında daha kolay yeniden görevlendirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece operasyonel süreçler sadeleşmekte, maliyetler düşmekte ve operasyonel esneklik artmaktadır (Button ve Ison, 2008). Bunun yanında, daha hızlı uçak dönüş süreleri ve uçak başına daha yüksek koltuk kapasitesi sayesinde uçak kullanım oranları da yükselmektedir. Hızlı dönüş süreleri; kargo bölümlerinin bulunmaması nedeniyle yükleme ve boşaltma işlemlerinin daha kısa sürmesi ve daha az yoğun ikincil havaalanlarının tercih edilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu uygulamalar operasyonların daha akıcı yürütülmesini sağlamakta, uçakların yerde bekleme süresini azaltmakta ve günlük uçuş sayısının artırılmasına katkıda bulunmaktadır (Button ve Ison, 2008; Yu vd., 2019).

Hizmet sunumu açısından LCC'ler, yemek, bagaj ve koltuk seçimi gibi ek hizmetleri ayrı ücretlendiren minimalist bir yaklaşım benimsemektedir (Button ve Ison, 2008). Bu model, tam hizmet veren havayollarının katlandığı birçok ek maliyet unsurundan kaçınmalarına olanak sağlamaktadır. LCC'lerin bir diğer önemli avantajı ise daha basit fiyatlandırma yapılarıdır. FSA'lar, farklı müşteri segmentlerinden daha fazla gelir elde etmek amacıyla karmaşık gelir yönetimi sistemleri kullanmakta ve çok sayıda hizmet seçeneği sunmaktadır. Ancak bu uygulamalar, analiz ve operasyon maliyetlerini artırmaktadır. Buna karşılık LCC'ler, daha sade gelir yönetimi sistemleri kullanarak bu maliyetleri önemli ölçüde azaltabilmektedir (Bitzan ve Peoples, 2016).

İş gücü maliyetleri de iki iş modeli arasındaki önemli farklılıklardan biridir. LCC'ler genellikle sendikasıız iş gücünden yararlanmakta, çalışan başına düşen mevcut koltuk mili (ASM) performansını yüksek tutarken ücret seviyelerini FSA'lara kıyasla daha düşük düzeyde korumaktadır (Chopra ve Lisiak, 2006). Ayrıca, bilet satışlarını büyük ölçüde doğrudan çevrim içi kanallar üzerinden gerçekleştirerek küresel dağıtım sistemleri ve seyahat acentelerine ödenen komisyon maliyetlerinden kaçınmaktadırlar (Gillen ve Lall, 2018). Son olarak, maliyet ile konfor arasında doğal bir denge bulunduğundan,

LCC'ler yolcu konforunu ikinci planda tutarak uygun fiyatlı ulaşım sağlamaya odaklanmaktadır (Mason ve Morrison, 2008).

*Tablo 4. Havayolu İş Modelleri ve SAF Etkisinin Temel Ayrışma Noktaları*

İş modeli	Operasyonel yapı	SAF açısından güçlü taraf	SAF açısından hassasiyet
Tam hizmet	Hub-and-spoke ağ, uzun menzil, çok sınıflı hizmet	Marka, kurumsal müşteri, ESG finansmanı	Yüksek toplam yakıt tüketimi ve karmaşık operasyon
Düşük maliyetli	Noktadan noktaya ağ, sade hizmet, yüksek uçak kullanımı	Verimli filo ve düşük birim emisyon iletişimi	Fiyat duyarlılığı ve maliyet liderliği baskısı
Charter	Sezonluk/tur operatörü odaklı operasyon	Sürdürülebilir turizm paketleri	Paket fiyat hassasiyeti ve sezonluk arz
Bölgesel	Kısa mesafe, küçük ölçekli filo, bağlantı rolü	Kısa rotalarda düşük emisyon iletişimi	Sınırlı tedarik erişimi ve düşük pazarlık gücü

*Kaynak: Teece (2010), Franke (2004), Mason ve Morrison (2008), Şengür ve Şengür (2017) temel alınarak yazar tarafından oluşturulmuştur.*

### 3. YÖNTEM

Havacılık sektörü, küresel ekonomik büyümeye ve uluslararası bağlantısallığa önemli katkılar sağlamakla birlikte, sera gazı emisyonları nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından yoğun eleştirilere maruz kalmaktadır. Uluslararası iklim hedefleri doğrultusunda havacılık kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması, sektörün öncelikli gündem maddelerinden biri hâline gelmiştir. Bu kapsamda Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (Sustainable Aviation Fuel–SAF), mevcut uçak ve altyapı sistemleriyle büyük ölçüde uyumlu olması nedeniyle havacılık sektörünün karbon ayak izini azaltmada en uygulanabilir çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak SAF kullanımının yaygınlaşması, yalnızca çevresel performansı değil, aynı zamanda havayollarının maliyet yapıları, rekabet stratejileri ve iş modelleri üzerinde de önemli etkiler yaratmaktadır. Özellikle düşük maliyetli havayolları (LCC) ile tam hizmet veren havayolları (FSA) arasındaki operasyonel ve finansal farklılıklar, SAF uygulamalarının bu işletmeler üzerindeki etkilerinin farklılaşmasına neden olmaktadır.

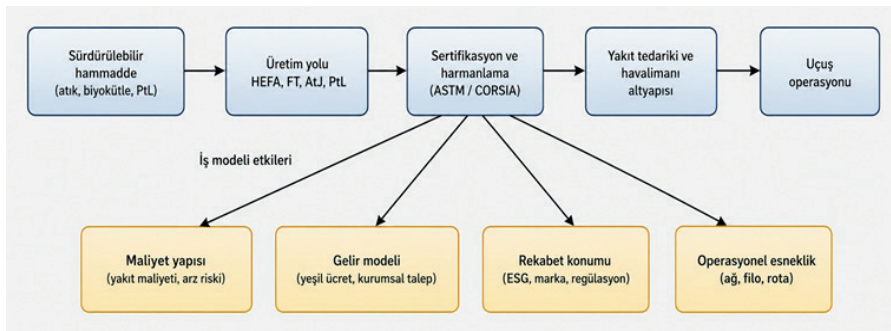
SAF kullanımının havayolu iş modelleri üzerindeki stratejik sonuçlarının değerlendirilmesi, sektörün sürdürülebilir dönüşüm sürecinin anlaşılması açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı kullanımının havayolu iş modellerine etkileri SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf

Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analizi çerçevesinde incelenerek, havayollarının sürdürülebilirlik hedefleri ile rekabetçi konumları arasındaki ilişkinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda SWOT unsurlarının belirlenme süreci, kullanılan kaynak türleri ve iş modeli bazlı sınıflandırma yaklaşımı yöntem bölümünde açık biçimde tanımlanmıştır. Veri kaynakları üç gruptan oluşmaktadır: (i) havacılıkta SAF, karbonsuzlaşma ve havayolu iş modelleri üzerine hakemli akademik çalışmalar; (ii) IATA, ICAO ve Avrupa Komisyonu gibi kurumsal düzenleyici ve sektör kaynakları; (iii) havayolu iş modellerine ilişkin kavramsal ve ampirik literatür. Güncel kurumsal kaynaklarda resmî web sayfaları esas alınmış; haber niteliğindeki kaynaklar temel dayanak olarak kullanılmamıştır.

SWOT unsurları tümdengelsel kodlama yaklaşımıyla belirlenmiştir. İlk aşamada literatür ve kurumsal raporlardan SAF'ın maliyet, tedarik, regülasyon, marka, operasyon ve müşteri değeriyle ilişkili ifadeleri çıkarılmıştır. İkinci aşamada bu ifadeler güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler kategorilerine ayrılmıştır. Üçüncü aşamada ise unsurlar tam hizmet, düşük maliyetli, charter ve bölgesel havayolu iş modellerine göre yeniden sınıflandırılmıştır.

SWOT sınıflandırmasında “güçlü yönler” ve “zayıf yönler” havayolu işletmesinin içsel kapasite ve iş modeli özellikleriyle; “fırsatlar” ve “tehditler” ise dış çevre, regülasyon, piyasa ve tedarik koşullarıyla ilişkilendirilmiştir. Çalışmada uzman görüşü veya Delphi/AHP gibi nicel ağırlıklandırma yöntemleri uygulanmamıştır. Bu nedenle bulgular, keşfedici ve stratejik değerlendirme niteliğindedir; nedensel veya istatistiksel sonuç olarak yorumlanmamalıdır.

Analizin sınırlılığı, SWOT unsurlarının ikincil kaynaklara ve literatür temelli yoruma dayanmasıdır. Gelecek çalışmalarda havayolu yöneticileri, yakıt tedarikçileri, havalimanı işletmecileri ve regülatör temsilcilerinden alınacak uzman görüşleriyle SWOT bulgularının ağırlıklandırılması önerilmektedir.



Şekil 2. SAF Tedarik Zinciri ve Havayolu İş Modellerine İlişkin Etkileri

Kaynak: Yazar tarafından IATA (2026), ICAO (2023) ve European Commission (2025) çerçeveleri temel alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 5. SAF Üretim Yolları ve İş Modeli Açısından Temel Etkileri

Üretim yolu	Temel hammadde/kaynak	Avantaj	İş modeli açısından sınırlılık
HEFA	Atık yağ, hayvansal yağ, bitkisel yağ	Ticari olgunluğu görece yüksek	Hammadde arzı ve fiyat rekabeti
Fischer-Tropsch	Biyokütle, belediye atığı, sentez gazı	Atık temelli üretim potansiyeli	Yüksek yatırım ve ölçeklenme ihtiyacı
Alkolden jete dönüşüm (AtJ)	Etanol, izobütanol, atık bazlı alkoller	Farklı bölgesel kaynaklarla uyum	Teknoloji maliyeti ve tedarik sürekliliği
PtL/c-SAF	Yeşil hidrojen ve yakalanmış CO <sub>2</sub>	Uzun vadeli düşük karbon potansiyeli	Yüksek elektrik, hidrojen ve sermaye ihtiyacı

*Kaynak: IATA (2026b), Staples et al. (2018) ve Lee et al. (2021) temel alınarak yazar tarafından oluşturulmuştur.*

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular, SAF kullanımının tüm havayolu işletmeleri için ortak bir sürdürülebilirlik aracı olmakla birlikte, iş modeli farklılıkları nedeniyle stratejik etkilerinin ayrıştığını göstermektedir. Bu kapsamda maliyet, arz ve regülasyon unsurları baz alınarak dört ayrı iş modeli için SWOT tabloları oluşturulmuştur.

*Tablo 6. Tam Hizmet Veren Havayolları İçin SAF Kullanımına Yönelik SWOT Analizi*

<p><b>Güçlü Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Güçlü marka ve kurumsal itibar kapasitesi</li> <li>Kurumsal müşteri ve premium segmentlerde çevresel değer önerisi sunabilme</li> <li>Yeşil finansman ve sürdürülebilirlik raporlamasına erişim</li> <li>Uzun vadeli yakıt tedarik anlaşmaları yapabilecek ölçek</li> </ul>	<p><b>Zayıf Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Uzun menzilli uçuşlarda yüksek toplam yakıt tüketimi</li> <li>Karmaşık filo ve ağ yapısı nedeniyle uygulama maliyetlerinin artması</li> <li>SAF maliyetinin bilet fiyatına yansıtılmasında talep riski</li> <li>Kapsamlı operasyon nedeniyle tedarik ve raporlama karmaşıklığı</li> </ul>
<p><b>Fırsatlar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kurumsal seyahatlerde SAF sertifikalı ürün ve yeşil ücret geliştirme</li> <li>ESG fonları ve sürdürülebilir finansman kaynaklarına erişim</li> <li>Küresel ittifaklar üzerinden SAF tedarik iş birlikleri</li> <li>Regülasyonlara erken uyum sayesinde rekabetçi konum kazanma</li> </ul>	<p><b>Tehditler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>SAF arzının sınırlı kalması ve fiyat volatilitesi</li> <li>AB ve farklı bölgelerde regülasyon uyumsuzlukları</li> <li>Rakip taşıyıcıların yeşil marka algısını daha güçlü sahiplenmesi</li> <li>Uzun menzilli operasyonlarda karbon maliyetinin hızla artması</li> </ul>

Kaynak: Yazar tarafından literatür ve kurumsal kaynaklar temel alınarak oluşturulmuştur.

Tam hizmet veren havayolları açısından SAF, yalnızca maliyet kalemi değil aynı zamanda marka, kurumsal müşteri ve sürdürülebilir finansman boyutlarında stratejik bir araçtır. Ancak bu modelin uzun menzilli ve karmaşık ağ yapısı, SAF maliyetlerinin toplam etkisini yükseltmektedir.

**Tablo 7. Düşük Maliyetli Havayolları İçin SAF Kullanımına Yönelik SWOT Analizi**

<p><b>Güçlü Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yeni ve yakıt verimli filo kullanımının birim emisyon avantajı sağlaması</li> <li>• Sade operasyon yapısı sayesinde uygulama süreçlerinin görece hızlı yönetilebilmesi</li> <li>• Doğrudan satış kanallarında düşük emisyonlu ürünlerin görünür kılınması</li> <li>• Kısa ve orta mesafeli hatlarda çevresel etki iletişiminin somutlaştırılması</li> </ul>	<p><b>Zayıf Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyet liderliği stratejisi nedeniyle SAF fiyat artışına yüksek hassasiyet</li> <li>• Ek maliyetleri düşük fiyatlı bilet yapısına yansıtma zorluğu</li> <li>• Sürdürülebilirlik yatırımları için sınırlı finansal esneklik</li> <li>• Fiyat duyarlı müşteri segmentinde talep kaybı riski</li> </ul>
<p><b>Fırsatlar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yeşil ek hizmet paketi veya isteğe bağlı SAF katkısı geliştirme</li> <li>• Yeni nesil yakıt tedarik anlaşmalarıyla maliyet sabitleme</li> <li>• Düşük birim emisyon ve verimli filo algısını pazarlama</li> <li>• Regülasyonlara erken uyumla ceza ve karbon maliyeti riskini azaltma</li> </ul>	<p><b>Tehditler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SAF maliyetlerinin bilet fiyatı rekabetini zayıflatması</li> <li>• Tam hizmet taşıyıcılarının sürdürülebilirlik algısını sahiplenmesi</li> <li>• Yakıt tedarikinde büyük ölçekli taşıyıcılara göre düşük pazarlık gücü</li> <li>• Zorunlu SAF oranlarının düşük marjları baskılaması</li> </ul>

*Kaynak: Yazar tarafından literatür ve kurumsal kaynaklar temel alınarak oluşturulmuştur.*

Düşük maliyetli havayollarında SAF'ın temel etkisi maliyet liderliği stratejisi üzerinde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu model için en kritik konu, SAF maliyetinin yolcuya aktarımı ile talep kaybı riski arasındaki dengenin yönetilmesidir.

**Tablo 8. Tarifesiz/Charter Havayolları İçin SAF Kullanımına Yönelik SWOT Analizi**

<p><b>Güçlü Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tur operatörleriyle blok anlaşmalar üzerinden SAF maliyetini paket yapıya dahil edebilme</li> <li>• Turizm destinasyonlarının sürdürülebilirlik imajıyla uyum sağlama</li> <li>• Sezonluk planlama sayesinde belirli rotalarda hedefli SAF kullanımı</li> <li>• Paket tur müşterilerine düşük emisyonlu tatil ürünü sunabilme</li> </ul>	<p><b>Zayıf Yönler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sezonluk talep nedeniyle SAF tedarik sürekliliğinin sınırlı olması</li> <li>• Fiyat duyarlı tatil talebinde ek maliyeti yansıtmaya zorluğu</li> <li>• Küçük/orta ölçekli charter işletmelerinde düşük pazarlık gücü</li> <li>• Sürdürülebilirlik raporlaması ve sertifikasyon kapasitesinin sınırlı olması</li> </ul>
<p><b>Fırsatlar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sürdürülebilir turizm paketleriyle farklılaşma</li> <li>• Destinasyon yönetimleri ve tur operatörleriyle ortak yeşil pazarlama</li> <li>• Avrupa pazarında çevre duyarlı tüketici segmentlerine erişim</li> <li>• Sezonluk SAF anlaşmalarıyla maliyet kontrolü</li> </ul>	<p><b>Tehditler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tur operatörlerinin maliyet baskısı nedeniyle SAF primini kabul etmemesi</li> <li>• Rakip destinasyon/taşıyıcıların daha düşük fiyat sunması</li> <li>• SAF arzının yoğun sezonlarda yetersiz kalması</li> <li>• Regülasyon maliyetlerinin paket tur rekabetçiliğini azaltması</li> </ul>

*Kaynak: Yazar tarafından literatür ve kurumsal kaynaklar temel alınarak oluşturulmuştur.*

Charter havayollarında SAF'ın etkisi turizm değer zinciriyle birlikte düşünülmelidir. SAF maliyeti yalnızca havayolunu değil, tur operatörü, destinasyon ve paket fiyat yapısını da etkilemektedir.

**Tablo 9. Bölgesel Havayolları İçin SAF Kullanımına Yönelik SWOT Analizi**

<b>Güçlü Yönler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kısa mesafeli rotalarda düşük emisyonlu ulaşım anlatısını güçlendirme</li> <li>• Bölgesel kalkınma ve kamu hizmeti hedefleriyle uyum</li> <li>• Küçük ölçekli pilot SAF uygulamaları için uygun operasyon alanı</li> <li>• Yerel hammadde ve bölgesel tedarik zinciri potansiyeli</li> </ul>	<b>Zayıf Yönler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük ölçek nedeniyle SAF tedarikinde sınırlı pazarlık gücü</li> <li>• Bölgesel havalimanlarında SAF altyapısının yetersizliği</li> <li>• Düşük talep yoğunluğu nedeniyle maliyet aktarımının zor olması</li> <li>• Küçük filo yapısında sertifikasyon ve operasyon maliyetlerinin görece olarak yükselmesi</li> </ul>
<b>Fırsatlar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kamu destekli yeşil bölgesel ulaşım programları</li> <li>• Yerel atık ve biyokütle kaynaklarıyla tedarik zinciri geliştirme</li> <li>• Bölgesel havalimanlarında erken altyapı yatırımıyla rekabet avantajı</li> <li>• Kısa rota emisyonlarının şeffaf raporlanmasıyla sosyal kabulü artırma</li> </ul>	<b>Tehditler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SAF erişiminin yalnızca büyük hub havalimanlarıyla sınırlı kalması</li> <li>• Maliyet artışının bölgesel hatların ekonomik sürdürülebilirliğini zayıflatması</li> <li>• Alternatif kara ulaşımı karşısında rekabet kaybı</li> <li>• Kamu teşviklerinin süreklilik göstermemesi</li> </ul>

*Kaynak: Yazar tarafından literatür ve kurumsal kaynaklar temel alınarak oluşturulmuştur.*

Bölgesel havayolları için SAF, çevresel ve bölgesel kalkınma hedefleri açısından önemli fırsatlar sunabilir; ancak arz ve altyapı erişimi bu modelde en kritik sınırlılıktır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) kullanımının havayolu iş modelleri üzerindeki etkileri SWOT analizi çerçevesinde incelenen araştırmada elde edilen bulgular, SAF'ın yalnızca çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı sağlayan bir araç olmadığını, aynı zamanda havayolu işletmelerinin rekabet stratejilerini, maliyet yapılarını ve gelir modellerini dönüştüren stratejik bir unsur hâline geldiğini göstermektedir. Analiz sonuçları, SAF kullanımının özellikle tam hizmet veren havayolları (legacy/full service carriers) açısından önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Güçlü marka algısı, geniş ağ yapısı ve premium müşteri segmentlerine erişim gibi avantajlara sahip olan bu havayolları, artan çevre duyarlılığını rekabet avantajına dönüştürebilmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı yolcu talebinin artması, "yeşil premium" olarak adlandırılacak yeni fiyatlandırma uygulamalarına olanak tanımakta ve SAF kaynaklı maliyet artışlarının belirli ölçüde gelir tarafında telafi edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum özellikle uluslararası ve premium pazarlarda faaliyet gösteren

havayolları için farklılaşma ve marka değerini güçlendirme fırsatı yaratmaktadır. Buna karşılık, düşük maliyetli havayolları (LCC) açısından SAF kullanımını daha karmaşık sonuçlar doğurmaktadır. LCC modelinin temelinde yer alan maliyet liderliği stratejisi, SAF'ın geleneksel jet yakıtına kıyasla daha yüksek maliyetli olması nedeniyle önemli ölçüde baskı altına girmektedir. Yüksek maliyetler ile yoğun fiyat rekabetinin birleşmesi, düşük maliyetli taşıyıcıların kâr marjlarını daraltmakta ve iş modelinin sürdürülebilirliği üzerinde risk oluşturmaktadır. Bu nedenle LCC'ler ya bilet fiyatlarını artırmak ya da operasyonel verimliliklerini daha da geliştirerek maliyetlerini dengelemek durumunda kalabilirler. Ancak fiyat artışları, bu işletmelerin hedef kitlesini oluşturan fiyat hassasiyeti yüksek yolcular üzerinde talep kaybına yol açma potansiyeli taşımaktadır.

SWOT analizinde ortaya çıkan bir diğer önemli sonuç, SAF kullanımının sektördeki rekabet dinamiklerini yeniden şekillendirebileceğidir. Özellikle erken dönemde SAF yatırımı yapan ve sürdürülebilirlik stratejilerini kurumsal yapılarına entegre eden büyük ölçekli ağ taşıyıcılarının, gelecekteki çevresel düzenlemelere uyum konusunda önemli avantajlar elde etmesi beklenmektedir. Buna karşılık, finansal kaynakları daha sınırlı olan veya maliyet liderliği üzerine kurulu iş modeli izleyen havayolları, artan düzenleyici baskılar karşısında daha dezavantajlı bir konuma düşebilir. Bu süreçte enerji şirketleri, yakıt üreticileri ve kamu kurumları ile kurulacak stratejik ortaklıklar, havayollarının rekabet gücünü koruyabilmeleri açısından kritik öneme sahip olacaktır.

Sonuç olarak SAF kullanımı, havayolu iş modellerini yalnızca operasyonel düzeyde değil, stratejik düzeyde de dönüştürmektedir. Kısa vadede yüksek maliyetler nedeniyle önemli zorluklar yaratmasına rağmen, uzun vadede sürdürülebilirlik hedeflerine uyum, düzenleyici avantajlar, kurumsal itibar artışı ve yeni gelir fırsatları sunmaktadır. Bununla birlikte, bu dönüşümün etkileri tüm havayolu işletmeleri için aynı değildir. Geleneksel havayolları SAF'ı bir rekabet avantajına dönüştürme potansiyeline sahipken, düşük maliyetli havayolları açısından SAF maliyet liderliği temelli iş modelini zorlayan yapısal bir risk unsuru olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle SAF'ın yaygınlaşması, havacılık sektöründe mevcut iş modeli farklılaşmasını daha da belirginleştirecek ve gelecekteki rekabet koşullarını yeniden şekillendirecektir.

## Kaynakça

- Abate, M., Christidis, P., & Purwanto, A. (2020). The expansion of low-cost carriers and its implications for the aviation industry. *Transport Policy*, 88, 1–13.
- Adiloğlu Yalçınkaya, L. (2021). *Havayolu iş modellerinin değişimi: Türk Hava Yolları ve Pegasus Havayolları üzerine bir araştırma*. Nobel Bilimsel Eserler.
- Alpman, E., & Göğüş, A. Y. (2017). Havacılıkta sürdürülebilir gelişme göstergeleri. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 1–11.
- ASTM International. (2022). *ASTM D7566: Standard specification for aviation turbine fuel containing synthesized hydrocarbons*. ASTM International.
- Berry, S., Carnall, M., & Spiller, P. T. (1996). Airline hubs: Costs, markups and the implications of customer heterogeneity (NBER Working Paper No. 5618). National Bureau of Economic Research.
- Bitzan, J. D., & Peoples, J. (2016). A comparative analysis of cost structures in low-cost and legacy airlines. *Journal of Transport Economics and Policy*, 50(2), 197–216.
- Brueckner, J. K., & Zhang, Y. (2001). A model of scheduling in airline networks. *Journal of Transport Economics and Policy*, 35(2), 195–222.
- Button, K., & Ison, S. (2008). The economics of low-cost airlines. *Journal of Air Transport Management*, 14(5), 276–283.
- Chopra, S., & Lisiak, A. (2006). Labor cost differences in airline business models. *Journal of Air Transport Studies*, 2(1), 33–48.
- Delfmann, W., Baum, H., Auerbach, S., & Albers, S. (2005). Moving targets: Strategic trends in the aviation sector. In W. Delfmann, H. Baum, S. Auerbach, & S. Albers (Eds.), *Strategic management in the aviation industry* (pp. 1–15). Ashgate.
- European Commission. (2023). *ReFuelEU Aviation initiative*. European Commission.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Biofuels and food security report*. FAO.
- Franke, M. (2004). Competition between network carriers and low-cost carriers: Retreat battle or breakthrough to a new level of efficiency? *Journal of Air Transport Management*, 10(1), 15–21.
- Gillen, D., & Lall, A. (2018). Airline distribution systems and cost efficiency. *Transport Policy*, 31, 45–56.
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65, 102194.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change (AR6 WGIII report)*. Cambridge University Press.

- International Air Transport Association. (2025). *Sustainable aviation fuel roadmap and policy considerations*. IATA.
- International Air Transport Association. (2025). *Sustainable aviation fuel roadmap report*. IATA.
- International Air Transport Association. (2026a). *Net zero 2050: Sustainable aviation fuels (SAF)*. IATA.
- International Air Transport Association. (2026b). *Fuel fact sheet*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-fuel/>
- International Air Transport Association. (2026c). *SAF handbook*. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-handbook.pdf>
- International Air Transport Association. (2025). *SAF and sustainability*. IATA.
- International Civil Aviation Organization. (2023). *Sustainable aviation fuels (SAF) guidance framework*. ICAO.
- International Civil Aviation Organization. (2023). *Third conference on aviation and alternative fuels (CAAF/3): Outcomes and recommendations*. ICAO.
- International Energy Agency. (2023). *Net zero roadmap: Aviation sector*. IEA.
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000–2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
- Mariyam, S., Alherbawi, M., McKay, G., & Al-Ansari, T. (2026). Converting waste into sustainable aviation fuel (SAF): A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116380.
- Mason, K. J., & Morrison, W. G. (2008). Towards a means of consistently comparing airline business models with an application to the “low cost” airline sector. *Research in Transportation Economics*, 24(1), 75–84.
- Smith, A., & Cox, B. (2012). Airline network structures and operational efficiency. *Journal of Air Transport Management*, 23, 45–52.
- Staples, M. D., Malina, R., Olcay, H., Pearlson, M. N., Hileman, J. I., & Barrett, S. R. H. (2018). Aviation biofuel from biomass: Techno-economic analysis and sustainability implications. *Nature Energy*, 3, 1–9.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2025). *Sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) harmonizasyon aksiyon planı (HAP) bilgi notu*. <https://www.shgm.gov.tr/>
- Şengür, F. K., & Şengür, Y. (2017). Havayolu iş modelleri: Kavramsal bir analiz. In *Ulusal Yönetim ve Organizasyon Kongresi Bildirileri*. İzmir, Türkiye.
- Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194.
- U.S. Department of Energy. (2023). *Sustainable aviation fuel grand challenge roadmap*. U.S. Department of Energy.

- Wang, B., Zhao, J. T., & Zhao, M. (2024). Sustainable aviation fuels: Key opportunities and challenges in lowering carbon emissions for aviation industry. *Carbon Capture Science & Technology*, 13, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100263>
- Wang, X., Guo, L., Lv, J., Li, M., Huang, S., Wang, Y., & Ma, X. (2023). Process design, modeling and life cycle analysis of energy consumption and GHG emission for jet fuel production from bioethanol in China. *Journal of Cleaner Production*, 389, 136027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136027>
- Watson, M. J., Machado, P. G., Da Silva, A. V., Saltar, Y., Ribeiro, C. O., Nascimento, C. A. O., & Dowling, A. W. (2024). Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 449, 141472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141472>
- Wei, H., Liu, W., Chen, X., Yang, Q., Li, J., & Chen, H. (2019). Renewable bio-jet fuel production for aviation: A review. *Fuel*, 254, 115599.
- Xu, Y., Zhang, Y., Deng, X., Lee, S., Wang, K., & Li, L. (2025). Bibliometric analysis and literature review on sustainable aviation fuel (SAF): Economic and management perspective. *Transport Policy*, 162, 296–312. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.11.014>
- Yang, Q., & Chen, F. (2022). Life cycle assessment of biojet fuels. In *Sustainable alternatives for aviation fuels* (pp. 215–236). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85715-4.00004-5>
- Yaşar, G., & Onat, B. (2024). Derleme: Sürdürülebilir havacılık yakıtları üretimi ve çevresel etkileri. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 10(2), 182–190. <https://doi.org/10.35229/jaes.1626339>
- Yu, G., et al. (2019). Operational efficiency in low-cost carriers. *Transportation Research Part A*, 124, 1–15.