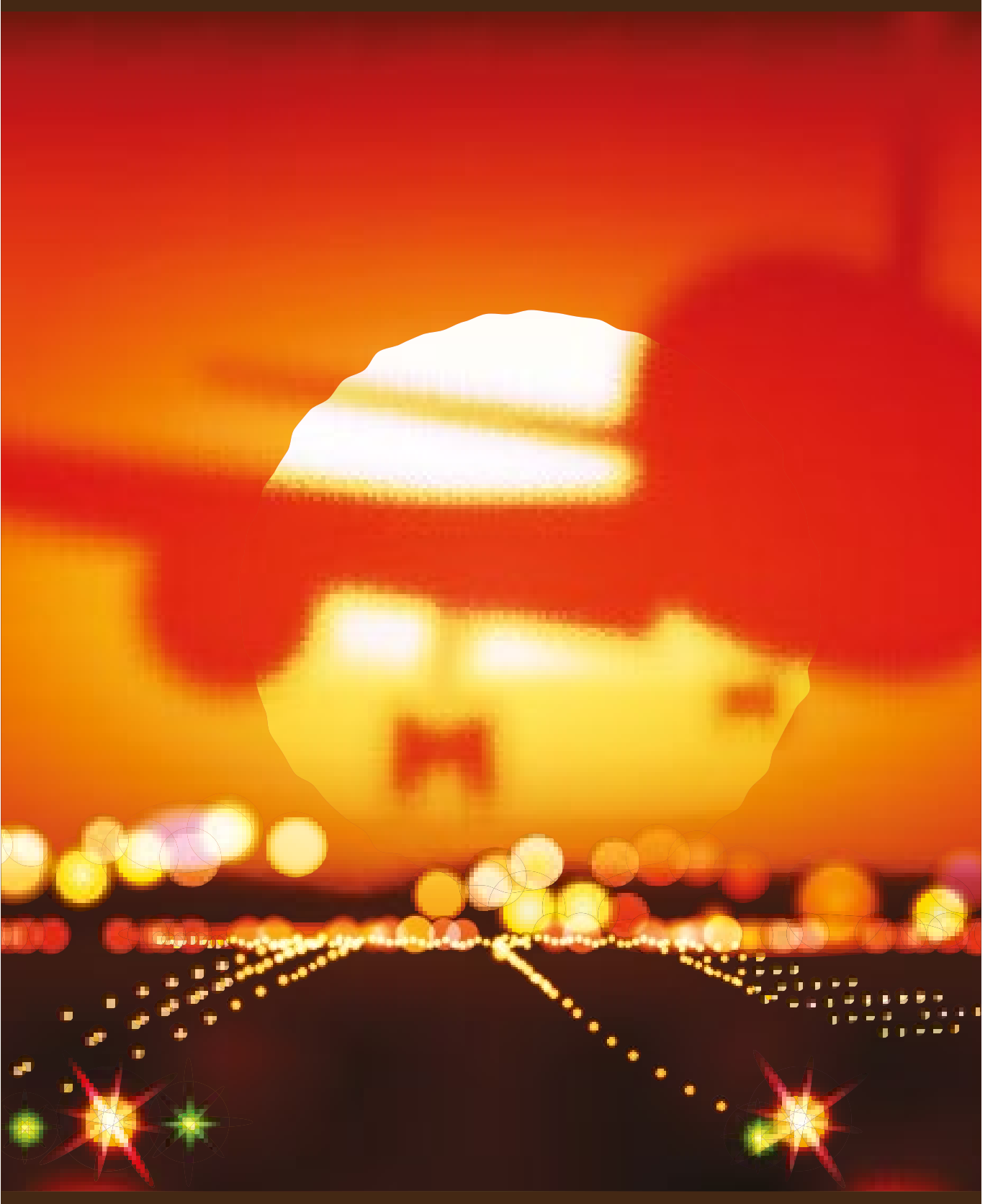





SİVİL HAVACILIKTA YAKIT VERİMLİLİĞİ

ARAŞTIRMA RAPORU MART 2021



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 F. Tamer ÇUKUR

1. GİRİŞ

Dünyadaki en hızlı ulaşım yöntemlerinden biri olan hava taşımacılığına talep sürekli artmaktadır. Geçmişteki petrol krizleri, değişken yakıt fiyatları, azalan yakıt stokları ve artan çevresel kaygılar havacılık endüstrisinin dikkatini yakıtın makul kullanım ihtiyacına çekmiştir.

Yakıt tüketimi, operasyonel maliyetleri ve dolayısıyla fiyatlar üzerinden kargo ve yolcu talebini doğrudan etkilemektedir. Havayolları, yakıt tüketimindeki düşük verim nedeniyle fiyatların artması, rekabet edememe ve dolayısıyla piyasa kaybı gibi sonuçların farkındadır ve yakıt maliyetlerinde daha verimli olmaya her zamanından daha isteklidir. Yakıt, havayolları için o kadar büyük bir maliyettir ki, verimlilik iyileştirici yöntemler bulabilmek için sektör genelinde yoğun çabanın odak noktasıdır.

Havacılık yakıtı tipik olarak havayolu maliyetlerinin yüzde 25'inden fazlasını ve havayolu karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yüzde 97'sinden fazlasını oluşturduğundan yakıt verimliliğine odaklanmak hem ticari hem de çevresel açıdan anlamlıdır.

Yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara bağlı olarak yakıtın havayolu maliyetleri içindeki payı yüzde 50'ye kadar çıkabilir. Bu dalgalanmanın etkisini azaltmak için, dünya çapında havayolları tarafından birçok yakıt tasarrufu girişi gerçekleştirilmiştir.

Havacılık, en hızlı büyüyen sera gazı emisyon kaynaklarından biridir. Havacılıktan gelen yakıt taleplerinin 2025 yılına kadar her yıl yüzde 1,9 ile yüzde 2,6 arasında artacağı tahmin edilmektedir. Yakıt tüketiminin ve dolayısıyla emisyon salımının azalmasıyla çevre üzerindeki olumsuz etkilerin de azalması beklenmektedir. Bu nedenlerle yakıt tüketiminin yönetilmesi son derece önemlidir.

Yakıt tüketimini optimize etmek, ticari havacılıktaki birçok grup için bir zorluktur. Konuyla ilgilenme motivasyonu yalnızca yakıt harcamalarını en aza indirme arzusundan değil, genel verimliliği artırma ve aynı zamanda çevresel endişeleri ele alma arzusundan gelir. Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik endişeleri, son yıllarda havacılık yakıt verimliliği iyileştirmelerinde çarpıcı ilerlemeye yol açmıştır^[1].

Diğer sektörlerle birlikte havacılık, emisyon azaltımlarına katkıda bulunmaktadır. Havacılıktan kaynaklanan doğrudan emisyonlar, Avrupa Birliği'nin (AB) toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık yüzde 3'ünü ve küresel emisyonların yüzde 2'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Küresel havacılık bir ülke olsaydı, emisyon seviyesi olarak ilk 10 arasında yer alırdı. Paris'ten New York'a uçup geri dönen biri, AB'deki ortalama bir kişinin evini bir yıl boyunca ısıtarak ürettiği emisyon ile aşağı yukarı aynı düzeyde emisyonu üretir. 2020'de, küresel yıllık uluslararası havacılık emisyonları 2005'tekinden yaklaşık yüzde 70 daha yüksektir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization -ICAO), 2050'ye kadar ek önlemler alınmaması halinde, bunların yüzde 300'ün üzerinde büyüebileceğini tahmin ediyor^[2].

Havacılık endüstrisinde ilave azaltım yapılmaması durumunda öngörülen büyüme, küresel emisyon payının 2050 yılına kadar yüzde 22'ye yükselmesini sağlayabilir. Havacılık emisyonlarını azaltmanın en etkili ölçüsü büyüymeyi azaltmak olsa da bu endüstrinin oyuncuları için kesinlikle ideal bir yaklaşım olmayacaktır. Burada dikkat çekici olan, uçak üreticilerinin ve havayollarının yakıt tüketimini azaltarak emisyonları azaltma görevini üstlenmeleri ve bu çabanın günümüzde yoğunlaşmasıyla yakıt verimliliğinin artmasıdır^[1].

En büyük operasyonel maliyet kalemlerinden biri olan yakıtın (kerosen) her kilogramı 3,15 kilogram CO₂ ürettiğinden havayolları, yakıt açısından daha verimli uçuş, taksi ve havalimanı operasyonlarını benimseme konusunda içsel bir motivasyona sahiptir^[3].

Mevcut havacılık dünyası, yakıt verimliliğini sürdürülebilir şekilde artıracak yeni teknolojiler, tasarımlar ve malzemeler aramaktadır. Uçaklar, motorları iyileştirilerek, aerodinamiği geliştirilerek ve daha hafif malzemeler kullanılarak daha az CO₂ üretebilmektedir.

Bu tür kazançlar, filoyu yeni uçaklarla değiştirmek, daha iyi operasyonlar ve hükümetleri her yıl yakıtın yaklaşık yüzde 5'ini harcayan hava sahası ve havalimanı verimsizliklerini ortadan kaldırmaya ikna etme çabaları gibi çeşitli şekillerde de olabilir^[4]. Daha gelişmiş tasarım, teknik ve stratejiler yoluyla yakıt verimliliğini artırmaya yönelik önemli çabalar öncelikli olarak kalacaktır.

Bu rapor, ticari havacılık yakıt tüketimine odaklanarak gelecekte daha fazla yakıt verimli seçeneklere doğru ilerlemek için yakıt verimliliği iyileştirmelerine olan ihtiyacı, bu iyileştirmeleri kısıtlayan zorlukları, farklı faktörlerin katkıda bulunduğu ilerlemeyi ve bu verimlilik kazanımlarını daha da ileri götürmek için mevcut seçenekleri değerlendirmektedir.

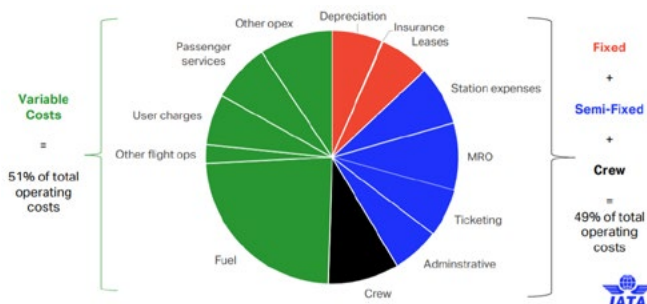
2. SİVİL HAVACILIKTA YAKIT VERİMLİLİĞİ VE TARİHÇESİ

Havacılıkta verimlilikten bahsetmek istediğimizde ne olur? Kontrol etmediğimiz çok sayıda değişken bulunmaktadır ve aynı şeyleri yapmanın pek çok yolu vardır; ayrıca verimliliği analiz etmek için uygun bir yol tanımlama ve iyileştirme konusunda pek çok zorlukla karşılaşılmaktadır.

Havacılıkta yakıt verimliliği, bir uçağın uçabileceği mesafe, taşıyabileceği yük miktarı ve daha da önemlisi daha iyi çevresel performans ile doğrudan ilişkilidir^[5]. Verimlilik, kapıdan kapıya (gate-to-gate) uçuş operasyonlarının, operasyonel ve ekonomik maliyet etkinliğini tek uçuş perspektifinden ele alır^[6].

Havayolu operatörlerinin ekonomik dengesi, oldukça rekabetçi bir ortamda bulunmaları ve yüksek sabit ve değişken maliyetler nedeniyle kırılgandır.

Söz konusu değişken ve sabit maliyetlerin dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Source: IATA Economics using data from WATS and Economic Performance of the Airline Industry, End-Year 2019

Şekil 1: Havayolu operatörlerinin değişken ve sabit maliyetleri^[7].

Havayolu şirketlerinin ekonomik denge sağlayarak yüksek rekabetle baş edebilmesi operasyonel verimliliğe bağlıdır. Havayollarının en önemli operasyonel maliyetlerinden biri yakıttır. Bu nedenle, yakıt fiyatları ve çevresel faktörler havayollarını yakıt ekonomisine götüren nedenlerden olmuştur.

Yakıt verimliliği genellikle faaliyet birimi başına kullanılan yakıt miktarıyla tanımlanır (Örneğin, Ücretli Ton-Kilometre (RTK) başına litre yakıt veya Arz Edilen Ton-Kilometre (ATK) başına litre yakıt; bu iki parametre ile raporda zaman zaman karşılaçağız).

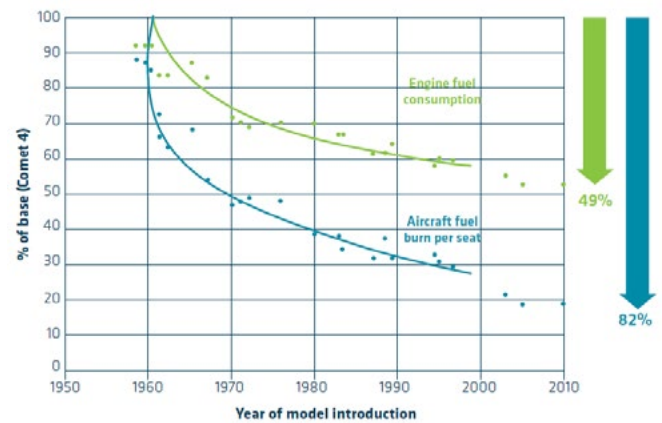
RTK, metrik ton cinsinden ifade edilen yolcu ve kargo için kullanılan (veya satılan) kapasitenin uçulan mesafeyle çarpımıdır. Diğer bir deyişle, RTK seviyeleri, hava taşımacılığı faaliyetinin hacmine karşılık gelir. Bir uçak operatörü daha uzun mesafelerde daha fazla yolcu ve kargo taşıdıça, operatörün RTK seviyeleri artar.

ATK, satışa sunulmuş toplam yük miktarının (yolcu, yük ve postanın toplamı) uçuş mesafesiyle çarpımından elde edilir. Sonuç; sunulan toplam yük miktarının kilometre olarak katettiği mesafeyi verir. Havacılıkta toplam yolcu ve kargo kapasitesinin bir ölçüsüdür.

Uçak motorları, bir uçağın yakıt verimliliğini belirlemede en önemli rolü oynar. Motorlu araçlarda kullanılanlardan farklı olmayan motorlarla çalıştırılan basit pervanelerin ilk günlerinden itibaren, uçak motorları günümüzde gezegendeki en verimli makinelerdendir. Motor tasarımında bu tür bir verimliliğe yol açan bir dizi önemli ilerleme olmuştur^[5].

Tarihsel eğilimler, günümüz filolarına giren uçakların 1960'larda olduğundan yaklaşık yüzde 80 daha fazla yakıt verimli olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Bu verimlilik seviyeleri, motor tasarımı ve kullanımında yıldan yıla artan iyileştirmelerle birlikte, artan yüksek baypas oranlarına sahip turbofan motorların piyasaya sürülmesi gibi önemli tasarım değişiklikleriyle elde edilmiştir.

1970'lerin ortalarında, en verimli seyir hızını ve motor gücü ayarlarını otomatik olarak ayarlayan uçuş yönetim sistemlerinin geliştirilmesiyle yakıt tasarrufu daha da artırdı. Daha yakın zamanlarda, havayolları, mevcut



Source: Plane Simple Truth 2008 / IPCC 1999

Şekil 2: Jet çağının erken dönemlerinden itibaren yakıt verimliliği kazanımları^[5].

teknoloji uçaklarının optimum verimlilik seviyelerine ulaşmasını sağlamak için bir dizi operasyon, bakım ve planlama prosedürü üstlendi.

Dünyanın en yaygın kullanılan jet uçağı Boeing 737'dir. İlk ticari versiyon olan Boeing 737-100, 1967'de ilk kez gökyüzüne çıktı ve toplam 12.701 kg yük ile 2.775 km'nin üzerinde 124 yolcu taşıyabiliyordu. Sonraki bir versiyon olan 737-800, yükte yüzde 67 artışla yüzde 48 daha fazla yolcuyla yüzde 119 daha uzağa taşıyabilirken, yüzde 23 daha az yakıt veya koltuk başına yüzde 48 daha az yakıt yakabilir durumdadır.

Yakıt verimliliği, hava taşımacılığı endüstrisinin doğuşundan bu yana gelişimin temel itici gücü olmuştur. Sektör aşağıdaki hususlarda tutarlı bir gelişme göstermiştir^[8]:

- Teknoloji platformlarının verimliliği (motorlar ve uçak gövdesi geliştirmeleri): 1950'lerdeki ilk jet motorlarından bu yana yüzde 85 gelişme.
- Operasyonel verimlilik (tüm uçak filosundaki teknolojinin kombinasyonu, bu uçakların çalıştırılma şekli, altyapı ve varlıkların kullanımı, uçuşlarda yük faktörleri): 1990'dan bu yana yüzde 55 iyileştirme.

Yakıt verimliliği, uçak operasyonlarının önemli bir bileşenidir. Bu nedenle Şekil 3'te görüldüğü üzere jet uçaklarının evrimiyle yakıt verimliliğindeki evrim paraleldir^[9].

Son yıllarda uçakların enerji verimliliğindeki gelişmelere aşağıdaki faktörler katkıda bulunmuştur^[9]:

1. Birim itki gücü başına motor yakıtındaki iyileştirmeler: Yaklaşık yüzde 70.
2. Aerodinamik iyileştirmeler: Yaklaşık yüzde 25.
3. Daha büyük uçakların ölçek ekonomileri gibi diğer faktörler: Yaklaşık yüzde 5.

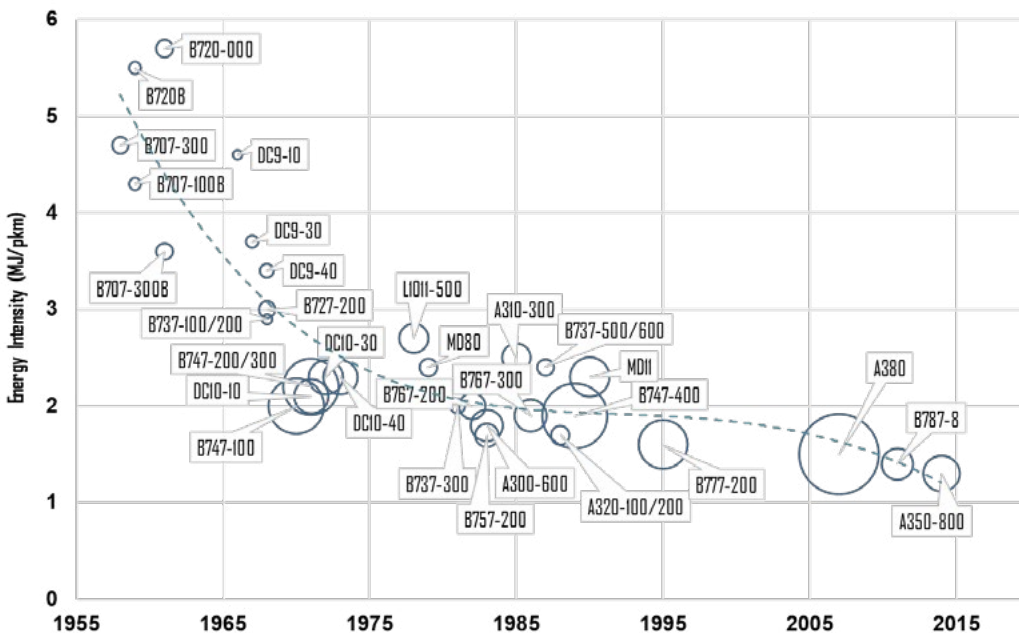
1970'lerin başında, 300 ila 400 yolcu aralığında yüksek kapasite avantajlarının yanı sıra motor verimliliği iyileştirmelerini içeren ikinci nesil jet uçaklarının (B747 ve DC10) piyasaya sürülmesiyle önemli bir dönüm noktası elde edildi.

Tablo 1'de havayolu yakıt verimliliğinin bileşenleri ve geçmiş eğilimleri genel olarak yer almaktadır.

Yakıt Verimliliği Ana Vasıtası	Yapılan Değişiklikler	Ortalama Yıllık İyileşme (Değişim Aralığı)
Yeni Uçak Teknolojisi	Verimli motorlar Geliştirilmiş aerodinamik Hafif malzemeler Elektrik sistemleri	%1,3 % -0,4'ten %2,6'ya
Geliştirilmiş operasyonlar	Daha yüksek yük faktörleri Artan koltuk yoğunluğu Daha direkt uçuşlar	%0,5' ¹ %0'dan %1,3'e
Hava trafik yönetiminin iyileştirilmesi	GPS tabanlı navigasyon sayesinde daha az trafik tıkanıklığı	%0,2 %0'dan %0,6'ya
Toplam		%2 %0'dan %2,7'ye

* Sistem geneli ve yeni uçak yakıt verimliliği arasındaki fark olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 1: Havayolu yakıt verimliliğinin bileşenleri ve geçmiş eğilimler^[10].



Not: Daire boyutu koltuk kapasitesininin büyüklüğü ile ilgilidir (iki sınıflı konfigürasyon).

Şekil 3: Yakıt verimliliği trendleri, seçilmiş yolcu jet uçakları için.



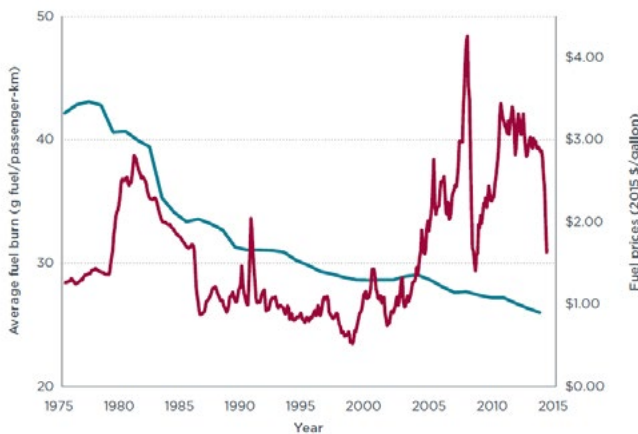
Şekil 4: Jet yakıtı Fiyatı - Galon başına ABD Doları (2004 ile 2018 arasında)^[11].

Yapılan araştırmalar, taşıyıcılar ve uçuşlar arasında yakıt verimliliği ve karbon yoğunluğunda önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) havalimanlarına giden ve bu havalimanlarından uçan havayollarının karbon yoğunluğu, kendi uçuş ağları üzerinden yüzde 26'ya kadar ve aktarmasız uluslararası uçuşlarda yüzde 50 ve daha fazla değişiklik gösterir. Güzergâha göre de yüzde 80 veya daha fazla farklılık gözlemlenmiştir^[10].

Yakıtın akıllıca yönetilmesi, havacılık endüstrisi için en önemli önceliklerdir. 1970 yılının petrol ambargosu, havacılıkta yakıt tasarrufunun önemini gösteren bir gelişmeydi. Hava taşımacılığının daha da genişlemesi ve çok yüksek yakıt fiyatları, sürekli iyileştirme girişimlerine olan ihtiyacı yineledi. Büyük değişim, Temmuz 2003'te galon başına sadece 0,8 dolar olan yakıt fiyatı, Temmuz 2008'de galon başına yaklaşık 4 dolar ile zirveye ulaştığında meydana geldi.

Şekil 4'te görüldüğü gibi bu dalgalanmalar 2008 yılından sonra da devam etti. Bugün jet yakıtı fiyatlarındaki tüm bu artışlarla birlikte, 20'nci yüzyıla kadar havayollarının genel işletme maliyetinin yüzde 20-25 olan yakıt gideri, günümüzde yaklaşık yüzde 40-50'ye kadar yükselmiştir. Bu, havayolu kârlarını etkiledi ve hatta birkaç havayolunu faaliyetlerini durdurmaya zorladı. Akaryakıt fiyat dalgalanmalarının gelecekte de devam etmesi bekleniyor.

Şekil 5, 1975'ten 2015'e kadar ortalama yakıt yanma verileri (yakıt/yolcu-km metriği) ve gerçek jet yakıtı



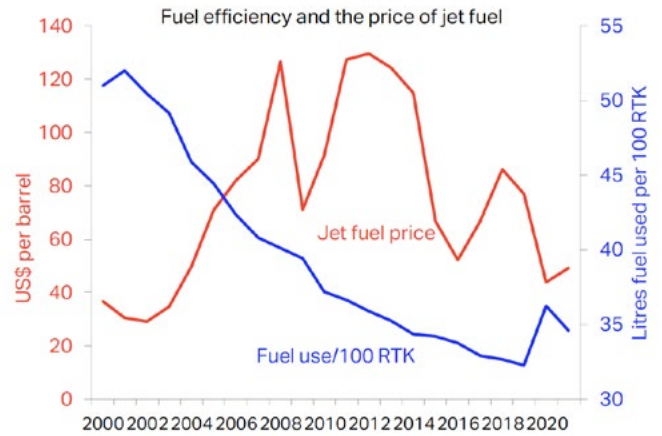
Şekil 5: Yeni ticari jet uçakları için ortalama yakıt tüketimi ve gerçek jet yakıtı fiyatları^[12].

fiyatlarındaki (ABD Enerji Bilgi İdaresi [U.S. Energy Information Administration -EIA], 2015) eğilimi göstermektedir. Jet yakıtı fiyatları, tüketici fiyat endeksi ile 2015 değerlerine normalize edilmiştir. Şekil özellikle 2005-2010 yıllarındaki 10 yıllık dönemde jet yakıtı fiyatlarının yüksek oynaklığını vurgulamaktadır.

2003 yılında jet yakıtı fiyatlarında başlayan keskin artış, 2004 yılında yeni uçaklar için sabit verimlilik döneminin sonu ile iyi bir korelasyon göstermektedir.

Havacılık sektörünün ABD'de fiyat rekabetini yoğunlaştıran 1979 Petrol Şoku ve 1978 Havayolu Deregülasyon Yasası ile bağlantılı fiyat artışına verdiği tepki dikkate alındığında, 2005'ten bu yana görülen iyileşmeler 1980'lerde görülenlere kıyasla mütevazı kalmaktadır (Şekil 5)^[12].

2000 ve 2020 yılları arasındaki jet yakıtı fiyatı ve yakıt verimliliği değişimi ise Şekil 6'da verilmektedir.

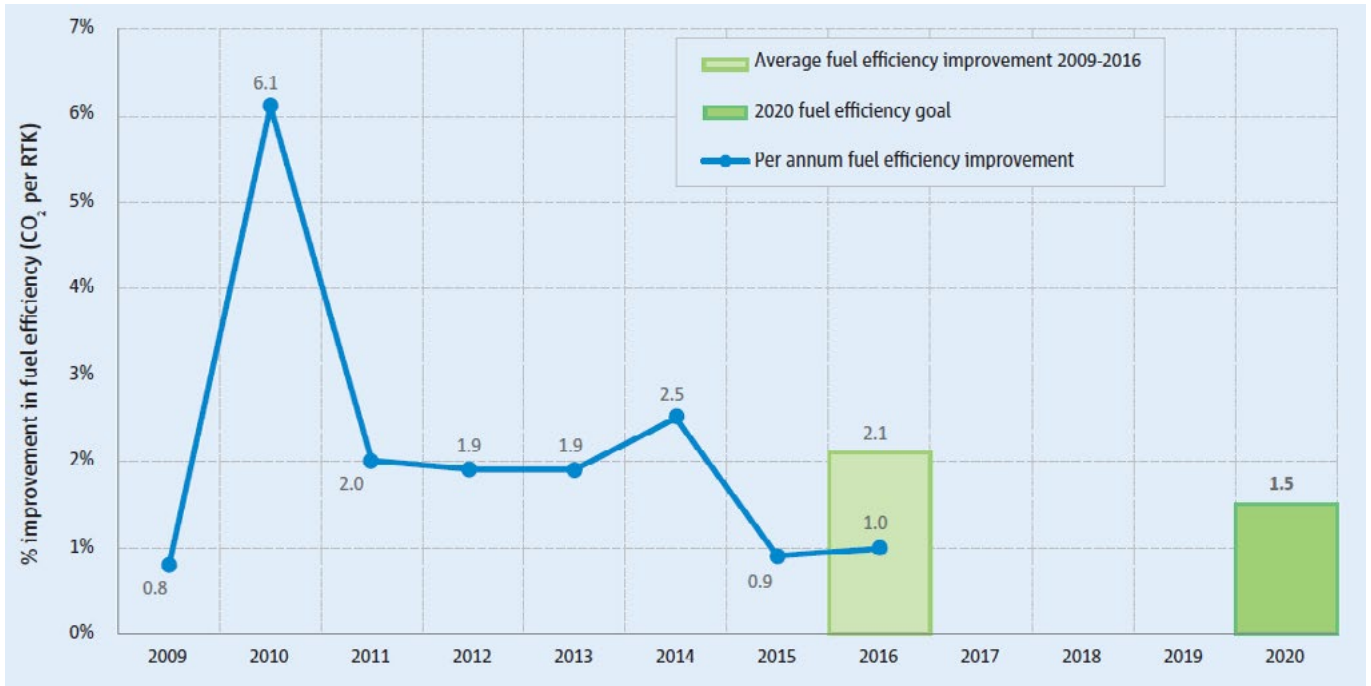


Şekil 6: Jet yakıtı fiyatı ve yakıt verimliliği değişimi^[4].

Şekil 7'deki jet yakıtı fiyat endeksinin Kasım 2019 - Kasım 2020 dönemindeki değişimi incelendiğinde 2020 yılı içindeki dönemde uçaklar yerde olduğundan yakıt fiyatlarındaki azalma görülmektedir.



Şekil 7: Jet yakıtı fiyat endeksi (Kasım 2019 - Kasım 2020 dönemi)^[13].



Şekil 8: Küresel ticari havacılık yakıt verimliliğinin iyileştirilmesi (Kaynak: IATA)[14].

Hava taşımacılığı, genellikle iklim ve çevresel etkilerin azaltılmasına en az katkıda bulunan sera gazı yayan sektörlerinden biri olarak kabul edilir. "Air Transport Action Group'a (ATAG) göre havacılık sektörü, yakıt verimliliğini iyileştirmede başarılı oldu ve bu durum, 2009'dan 2020'ye kadar yıllık yüzde 1,5'lük endüstri hedefinden daha güçlü oldu.

Ücretli Ton-Kilometre (RTK) başına yıllık ortalama yakıt verimliliği artışı, yüzde 1,5 endüstri hedefine karşın 2009-2014 yılları arasında yüzde 2,4; 2009-2016 yılları arasında yüzde 2,1 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 8).

2020 ve 2021 yıllarında yakıt verimliliğinin, eski uçaklar kullanımdan kaldırılacağı veya depoya alınacağı için kapasite kullanımı açısından, başka bir deyişle Arz Edilen Ton-Kilometre (ATK) başına, yüzde 2 iyileşeceği tahmin edilmektedir (Tablo 2).

Worldwide airline industry	2019	2020F	2021F
Fuel spend, \$billion	188	55	78
% change over year	4.6%	-71.0%	42.2%
% operating costs	23.7%	12.7%	15.8%
Fuel use, billion litres	363	194	246
% change over year	1.0%	-46.6%	26.9%
Fuel efficiency, litre fuel/100atk	22.4	21.9	21.5
% change over year	-1.9%	-2.0%	-2.0%
CO ₂ , million tonnes	914	488	619
% change over year	1.0%	-46.6%	26.9%
Fuel price, \$/barrel	77.0	43.9	49.1
% change over year	-10.6%	-43.0%	12.0%
% spread over oil price	18.5%	2.0%	8.0%

Tablo 2: Havayolu endüstrisi için yakıt verimliliği verileri ve tahminleri[14]. (ATK: Arz Edilen Ton-Kilometre)

Industry Fuel Costs and Net Profit



Source: IATA
Updated: 11/2020 Next Update: 06/2021

Şekil 9: Endüstri yakıt maliyetleri ve net kâr[15].

Şekil 9'a göre 2019'da 26,4 milyar dolarlık tahmini kârın ardından 2020 için 118,5 milyar dolarlık sektör net zararı bekleniyor. 2020 yılında havayolu endüstrisi yakıt faturasının, ortalama işletme maliyetlerinin yaklaşık yüzde 13'ünü temsil edecek şekilde 55 milyar dolara düşeceği tahmin edilmektedir. Bu düşüş, talepteki azalma ve akaryakıt fiyatlarındaki keskin düşüş göz önüne alındığında daha az gerçekleşen trafiğin (katedilen kilometre) bir yansımasıdır.

Ayrıca, sektörün net zararının 2021'de 38,7 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir. 2021 yılında talep ve akaryakıt fiyatlarındaki toparlanmayla birlikte havayolları yakıt faturasının 78 milyar dolara çıkacağı tahmin edilmektedir. 2020'nin ikinci çeyreğinde negatife dönen jet yakıtı "crack spread"ın 2021'de artması bekleniyor. IATA, tahminini 2021 yılında ortalama jet fiyatı için 49,1 \$/varil ve Brent ham petrol fiyatı için 45,5 \$/varil değerlerine dayandırmaktadır.

Son 20 yılda, uçaklardaki arz edilen koltukların sayısı yüzde 25'ten fazla arttı ve talebin her yıl yaklaşık yüzde 5 artmaya devam edeceği tahmin ediliyor. Küresel filonun 20.930 yeni uçakla büyüyerek 2032'de yaklaşık 40.000'e ulaşması bekleniyor^[16].

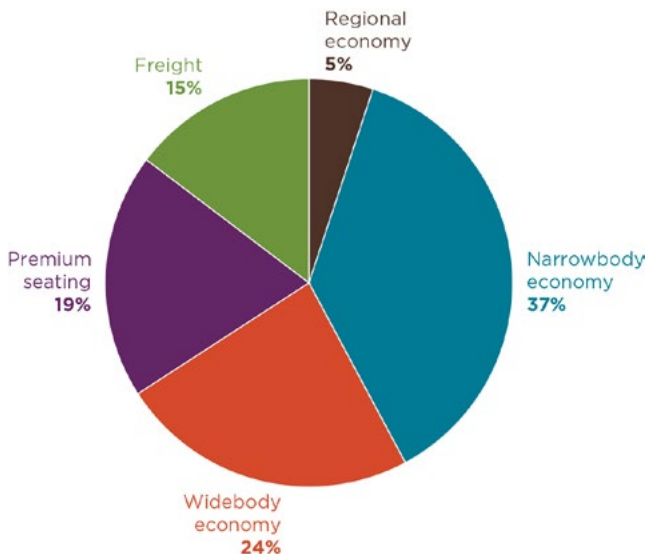
Diğer taraftan, uçak yakıt tüketimiyle orantılı olan CO₂ emisyonları, hava taşımacılığının büyümesiyle hızla artmaktadır. Bununla birlikte, azaltılmış yakıt kullanımıyla çevresel performans arasında doğrudan bir ilişki olduğunda tasarruf edilen her ton yakıt, yaklaşık 3,15 ton daha az CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir.

2019 yılında ABD ve ABD'nin diğer kara parçalarındaki havalimanlarından kalkan uçuşlar, küresel yolcu taşımacılığına bağlı CO₂ salımının yaklaşık dörtte birini (yüzde 23) gerçekleştirdi ve bunun üçte ikisi iç hat uçuşlarından geldi. Yolcu havacılığına bağlı karbon emisyonları açısından ilk beş ülke ABD, Çin, İngiltere, Japonya ve Almanya olarak kayıtlara geçti. AB'nin 28 üyesi, küresel yolcu taşımacılığı toplamının yüzde 19'unu gerçekleştirerek ABD'nin ardından ikinci sırada yer aldı. Çin'in payı yüzde 13 olurken, bu en büyük üç pazar 2019'daki yolcu kaynaklı CO₂ salımının yarısından fazlasından sorumluydu.

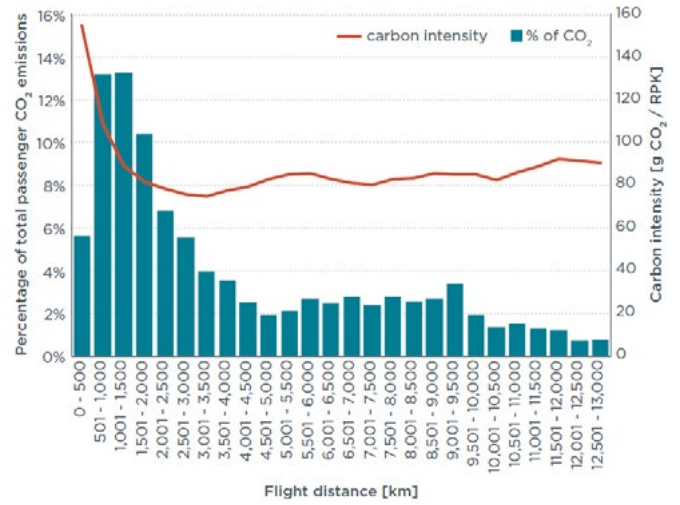
2019 yılında tüm ticari operasyonlardan kaynaklanan CO₂ emisyonları, 2013'ten bu yana yüzde 29 artışla 918 milyon metrik ton olarak gerçekleşti. Emisyonların yüzde 85'i yolcu taşımacılığından kaynaklanıyor.

Ortalama olarak, yolcu havacılığı 2019'da yolcu-kilometre başına 90 gram CO₂ salımı gerçekleştirdi. Bu değer, 2018'e göre yüzde 2 ve 2013'e göre yüzde 12 düşüşe karşılık gelmektedir. Başka bir deyişle, havayolları, yakıt verimliliğini uluslararası uçuşlar için yılda yüzde 2 iyileştirme hedefine ulaştırma yolunda ilerliyor^[17].

2019'da ticari havacılıktaki CO₂'nin yüzde 37'si dar gövdeli uçaklardaki yolcu hareketiyle bağlantılıydı, bunu geniş gövdeli jetler (yüzde 24), birinci sınıftaki yolcular (yüzde 19) ve bölgesel uçaklar (yüzde 5) izledi. Kalan havacılık emisyonları yük taşımacılığından kaynaklandı.



Şekil 10: Operasyonlara ve uçak sınıfına göre 2019'daki CO₂ emisyonları^[17].



Şekil 11: 2018'de yolcu CO₂ emisyonları ve karbon yoğunluğunun payı (bacak uzunluğuna göre*)^[19].

Ticari havacılıkta yolcu taşımacılığının yük taşımacılığından daha fazla CO₂ salımı gerçekleştirdiği göz önüne alındığında, odak noktası yolcu taşımacılığı olmaktadır.

2020 yılının ikinci çeyreği boyunca endüstrinin büyük bir kısmı uçmadığından, CO₂ emisyonlarının 2019 yılına kıyasla yüzde 37,1 daha düşük olması beklenmektedir^[18].

Şekil 11 yolcu uçağı CO₂ emisyonlarının (turkuaz çubuklar) ve karbon yoğunluğunun bacak uzunluğuna (stage length -aktarma süreleri dışındaki uçuşların uzunluğu- turuncu çizgi) göre 500 km'lik artışlarla yüzde dağılımını göstermektedir.

Yolcu CO₂ emisyonlarının yaklaşık üçte biri, 1.500 km'den az kısa mesafeli uçuşlarda meydana geldi. Diğer üçte biri 1.500 km ile 4.000 km arasındaki orta mesafeli uçuşlarda ve kalan üçte biri de 4.000 km'den daha uzun mesafeli uçuşlarda meydana geldi.

Yaklaşık 500 km'den az bölgesel uçuşlar, kabaca uçağın diğer yolcu taşımacılığı modlarıyla doğrudan rekabet ettiği mesafe, toplam yolcu CO₂ emisyonlarının yaklaşık yüzde 5'ini oluşturuyordu.

Orta ve uzun mesafeli uçuşların karbon yoğunluğu 75 ile 95 g CO₂/RPK arasında değişir, minimum yaklaşık 3.000 km'de ve uçuş uzunluğu arttıkça hafif bir yukarı doğru eğim vardır.

RPK (Ücretli Yolcu-Kilometre/Revenue Passenger-Kilometres), tüm ücretli yolcuların kilometre olarak katettikleri mesafedir.

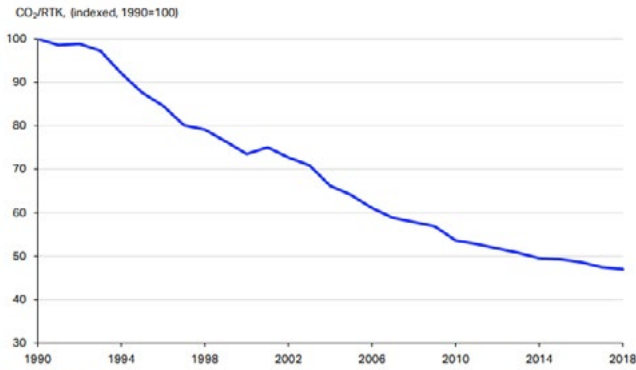
Kısa mesafeli uçuşlarda, ortalama karbon yoğunluğu kabaca 110 g CO₂/RPK, başka bir deyişle orta mesafe ortalamasından yaklaşık yüzde 35 daha yüksektir.

500 km veya daha kısa uzunluktaki bölgesel uçuşlarda, uçuşun karbon yoğunluğu iki katına çıkarak 155 g CO₂/RPK'ya ulaşır. Bunun nedeni, kalkış için kullanılan ekstra yakıtın, yakıt açısından daha verimli olan seyir segmentine kıyasla nispeten büyük hâle gelmesi ve ayrıca en kısa uçuşlarda yakıt verimi daha az olan bölgesel jetlerin kullanılmasıdır.

1990 yılından 2018 yılına kadar yakıt verimliliğinin (RTK başına CO₂) performansı Şekil 12'de verilmiştir.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO ₂ /RTK (indexed, 1990=100)	100	87.6	73.5	64.1	53.6	52.8	51.7	50.8	49.5	49.3	48.6	47.4	47.0

Source: WATS+ 2019



Source: WATS+ 2019

Şekil 12: Yakıt verimliliği performansı^[20].

Şekilden görüleceği üzere havayolları yakıt verimliliğinde yıllara göre ilerleme kaydetmiştir.

3. ENDÜSTRİ HEDEFLERİ

Hava taşımacılığı, modern, küreselleşmiş dünyamızın hayati bir özelliğidir ve kıtalar arasında insanları ve işletmeleri birbirine bağlamaktadır. Küresel havacılık endüstrisi, küresel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (Gross Domestic Product -GDP) yüzde 3,5'ini oluşturmaktadır (2,7 trilyon dolar -2014 verilerine göre)^[21].

Hava yolculuğunun faydaları açıktır, ancak çevresel etki yarattığı yönleri de vardır. Geleneksel olarak, havacılığın dahil olduğu çevresel sorunlar, havalimanlarını çevreleyen çevreyi etkileyen gürültü ve hava kirliliğine odaklanmıştır. Son zamanlarda ise, gündeme gelen küresel iklim değişikliği sorunu dikkatleri uçakların CO₂ emisyon hacimlerine odaklamıştır. Uçuşlarda yanan yakıttan üretilen sera gazları (başlıca CO₂ olmak üzere) atmosfere salındığında küresel iklim değişikliğine olumsuz etkide bulunur.

Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliğine (IATA) göre havacılık, dünyadaki küresel karbon emisyonlarının yaklaşık yüzde 2'sine katkıda bulunuyor. 2016 yılında sivil

havacılık bir bütün olarak yaklaşık 814 milyon ton CO₂ salımı meydana getirdi, bu da insan yapımı karbon emisyonlarının kabaca yüzde 2'sidir^[21].

Birleşmiş Milletlerin (BM) sivil havacılık kurumu ICAO'nun hesaplamasına göre, Londra'dan New York'a ekonomi sınıfı bir gidiş-dönüş uçuşu, yolcu başına tahmini 0,67 ton CO₂ yayıyor. Bu, İngiltere'deki bir kişi için ortalama yıllık emisyonunun yüzde 11'ine karşılık gelmektedir veya bir yıldan fazla Gana'da yaşayan birinin neden olduğu emisyonla yaklaşık olarak aynıdır. IATA 2037'de yolcu sayısının ikiye katlanarak 8,2 milyara çıkacağını tahmin ediyor.

Havacılıkta tüm ticari operasyonlardan kaynaklanan CO₂ emisyonları son 20 yılda hızla artarak, 2019'da neredeyse bir milyon metrik tona (MMT) ulaşmıştır. Bu değerler fosil yakıt kullanımından kaynaklanan küresel CO₂ emisyonunun yüzde 2,8'idir.

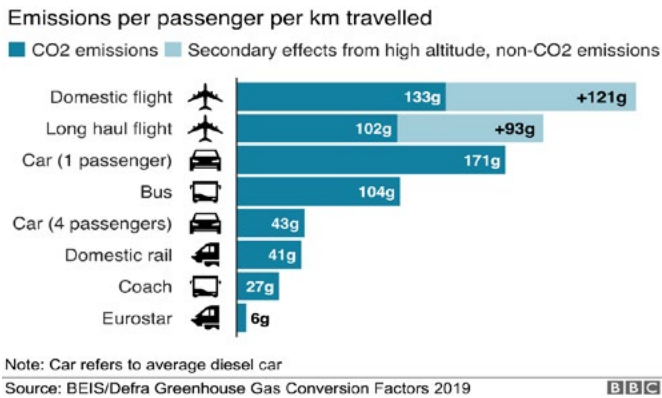
Havacılık endüstrisi değerleri dikkate alındığında son beş yılda emisyonlarda yüzde 32'lik bir artış olmuştur^[23].

Sektör, faaliyetlerinin küresel iklim değişikliğine olumsuz etkide bulunduğunun farkındadır ve bu etkiyi son derece ciddiye alma sorumluluğunu da üstlenmektedir^[21].

2008 yılında Hava Taşımacılığı Eylem Grubu (Air Transport Action Group -ATAG) şemsiyesi altında havacılık endüstrisinin küresel paydaşları (Airports Council International, Civil Air Navigation Services Organization, International Air Transport Association ve International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations) küresel iklim değişikliğinde hava taşımacılığında kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için bir dizi iddialı hedef benimsemiştir^[14]:

- 2009'dan 2020'ye kadar yakıt verimliliğinde (RTK başına CO₂) yıllık ortalama yüzde 1,5'lik bir iyileşme sağlamak,
- 2020 yılından itibaren havacılık net CO₂ emisyonlarını 2020 yılı seviyesinde denkleştirmek (karbon-nötr büyüme),
- 2050'ye kadar havacılık kaynaklı net CO₂ emisyonlarını 2005 yılındaki miktarının yarısına düşürmek,

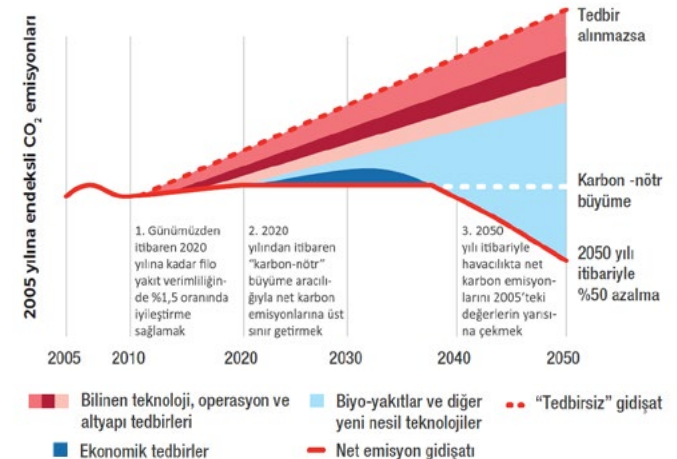
Bu hedeflere ulaşmak için tüm paydaşlar, dört temelli bir strateji doğrultusunda yakın bir şekilde birlikte çalışmayı kabul etmiştir^[25]:



Note: Car refers to average diesel car

Source: BEIS/Defra Greenhouse Gas Conversion Factors 2019

Şekil 13: Farklı ulaşım modlarından kaynaklanan emisyonlar^[22].



Şekil 14: Havacılık sektörünün kısa ve uzun vadeli hedefleri^[24].

1. Teknoloji

Yeni, daha verimli uçak ve motorların geliştirilmesi CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. **Yeni teknoloji uçaklar**, yerine geçtikleri modellere göre ortalama olarak yaklaşık yüzde 15-20 daha fazla yakıt tasarrufludur.

2050 yılına kadar elektrikli ve hidrojenle çalışan itki sistemlerinin bölgesel, kısa mesafeli ve belki de orta mesafeli uçuşlara hizmet etme potansiyeline sahip olması beklenirken, uzun mesafeli uçuşlar için gelecekteki sıvı yakıtlar hâlâ gerekli olacaktır.

2. Daha Verimli Uçak Operasyonları ve Altyapı İyileştirmeleri

CO₂'yi azaltmak için bu kapsamdaki iyileştirmeler havayolları, havalimanları ve hava seyrüsefer hizmeti sağlayıcıları (Air Navigation Service Providers -ANSP) tarafından uygulanabilir.

Operasyonel önlemler, mevcut filodaki ağırlık tasarruflarının belirlenmesini ve uçağın daha az yakıt yakmasının sağlanmasını içerir. Havayolları hafif koltuklara ve kabin ekipmanına yatırım yapıyor ve hatta ağır kağıt ortamdaki pilot kılavuzlarını tablet bilgisayarlarla değiştiriyor. Diğer operasyonel önlemler arasında tek motorlu taksi, rölantide ters itme ve havalimanlarına sürekli inişler ve havada gereksiz tutmayı önleyen trafik akış yönetimi gibi Hava Trafik Kontrol (ATC) prosedürleri bulunur^[21].

Stratejinin "altyapı" ayağı, esas olarak seyrüsefer iyileştirmeleri, hava sahasından daha iyi yararlanma ve uçuş süresini kısaltmak amacıyla uçaklar tarafından izlenen rotaları düzene sokma ve verimi iyileştirmek ve gereksiz beklemeyi önlemek için havalimanı düzenini optimize etmekle ve hava trafik yönetim sistemlerini modernize etmekle ilgilidir.

3. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları

Hâlihazırda belirli ticari uçuşlarda kullanılmakta olan sürdürülebilir havacılık yakıtları, emisyonları yüzde 80'e kadar azaltma potansiyeline sahip olacaktır^[21].

Havacılığın 2050 yılına kadar yılda yaklaşık 450-500 milyon ton sürdürülebilir havacılık yakıtlarına (SAF) ihtiyaç duyması muhtemeldir. Bu, güçlü sürdürülebilirlik kriterleriyle başarılabilir. Ölçek büyütme zor olduğundan hükümetlerden ve enerji sektöründen destek gerekli olacaktır.

4. Ekonomik Önlemler - Denkleştirme Veya Sektör Dışı Karbon Azaltma

Sektör, endüstri ve hükümet arasındaki ortaklık yoluyla havacılık endüstrisinin sürdürülebilir büyümesini sağlamak için teknolojinin, operasyonel önlemlerin ve daha iyi altyapının uzun vadeli çözümler sağlayacağından emindir. Bununla birlikte, diğer önlemler tam etkili oluncaya kadar kalan herhangi bir emisyon açığını kapatmak için küresel Piyasaya Dayalı Önlem'in (MBM) gerekli olduğu da kabul edilmektedir^[21].

Sektörün orta vadede MBM'lere güvenmesi gerekecektir. Ormancılık, doğal karbon yutakları (carbon sinks) ve karbon giderme (carbon removal) 2050'de anahtar olabilir.

Havacılığın bu hedefleri karşılamak için gerekli olan teknoloji, enerji sistemi ve operasyonel önlemlere doğru yönlendirilmesine yardımcı olabilecek bir dizi önlem vardır. Bunların çoğu inanılmaz derecede zorludur, ancak hepsi doğru politikalar ve kaynakların gerektiği şekilde odaklanmasıyla başarılabilir^[27].

HEDEF 1	HEDEF 2	HEDEF 3
2009'DAN 2020'YE KADAR ORTALAMA YILLIK FİLO YAKIT VERİMLİLİĞİNİ İYİLEŞTİRMEK	KARBON-NÖTR BÜYÜME YOLUYLA 2020 SEVİYELERİNDE HAVACILIK NET CO ₂ EMİSYONLARINI DENKLEŞTİRMEK	2050'YE KADAR HAVACILIK NET CO ₂ EMİSYONLARINI 2005 YILINDAKİ MİKTARIN %50'SİNE DÜŞÜRMEK
İlerleme	İlerleme	İlerleme
Sektör bu kısa vadeli hedefi karşılama yolunda ilerliyor, hedefin üzerinde seyrediyor.	Endüstri, hükümetler arası düzeyde küresel eylemleri aktif olarak desteklemektedir.	Devam eden önemli araştırma ve inovasyon çabaları
Sektör Bunu Nasıl Gerçekleştiriyor?	Sektör Bunu Nasıl Gerçekleştiriyor?	Sektör Bunu Nasıl Gerçekleştiriyor?
<ul style="list-style-type: none"> Yeni uçak ve motor teknolojileri Havayolları tarafından daha verimli operasyonlar Hava trafik yönetimi altyapısının daha iyi kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> Hedef 1 için tüm eylemler ICAO'da Uluslararası Havacılık için Karbon Denkleştirme ve Azaltma Şeması (CORSA) 	<ul style="list-style-type: none"> Hedef 1 ve 2'ye yönelik tüm eylemler Sürdürülebilir alternatif havacılık yakıtlarının geliştirilmesi Uçak ve motor üreticileri tarafından gelecek tasarım konseptlerinin araştırılması <p>(Bu iddialı hedefe ulaşmak için yeni teknolojilere sürekli yatırım ve sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı için güçlü destek mekanizmaları gerekecektir^[21].)</p>

Tablo 3: Endüstri CO₂ emisyon hedefleri^[26].

4. WAYPOINT 2050

Hava Taşımacılığı Eylem Grubu (Air Transport Action Group -ATAG) tarafından yayınlanan Waypoint 2050, havacılık sektörü uzmanları arasında bir işbirliğidir. Waypoint 2050, Eylül ayında yapılan 2020 Küresel Sürdürülebilir Havacılık Forumu sırasında ATAG tarafından başlatıldı.

Rapor, 2005'e kıyasla 2050'ye kadar CO₂ emisyonlarında yüzde 50 net azalma gerektiren sektörün uzun vadeli iklim hedefine giden farklı yollarını analiz ediyor. Yeni analizde havacılık sektörü, 2005 yılına kıyasla 2050 yılına kadar CO₂ emisyonlarını yarı yarıya azaltma iklim hedefini nasıl karşılayabileceğini ayrıntılarıyla anlatmaktadır.

ATAG Waypoint 2050 analizi, 2050'den yaklaşık 10 yıl sonra, 2060 yılına kadar net sıfır emisyonları karşılayabilen potansiyel seçenekler olduğunu, ancak bunun çok zor olacağını tespit ediyor. Bunu yapabilen bazı bölgeler ve şirketlerin bu noktaya daha erken ulaşabileceğini vurguluyor. Bunun gerçekleşmesi için tüm paydaşlardan (havacılık endüstrisinin kendisi, hükümetler, araştırmacılar ve enerji endüstrisi) taahhüt ve doğru destek düzeyinin sağlanacağı varsayılmaktadır. Havacılık endüstrisinin kendi çabalarını da iki katına çıkarması gerekecektir^[27].

Radikal uçak tasarımları, elektrikli ve hidrojenle çalışan uçaklar gibi yeni teknolojilerin beklentisi, analize dahil edilmiştir. Bunların kısa mesafeli uçuşlar için 2035-2040 yılları arasında filoya girmesi bekleniyor. En önemlisi, endüstrinin iklim hedefini karşılamak için SAF'ye neredeyse tamamen geçiş -bu düşük karbonlu enerji kaynağından 450-500 milyon tona kadar- gerekli olacaktır^[28].

Rapor, 2050 yılına kadar hava taşımacılığı ile yılda 10 milyardan fazla yolcunun taşınacağını ve herhangi bir iyileştirme olmadan bunun 1.800 megaton (Mt) CO₂ üretebileceğini tahmin ediyor^[25].

Waypoint 2050, geniş bir değişken yelpazesinde tahmin karmaşıklığını azaltmak için, sektörün 2050 hedefini karşılayan üç özel senaryo belirledi. Bunlar, trafik büyüme tahminleri, teknoloji gelişmeleri, operasyonlar ve altyapı iyileştirmeleri, sürdürülebilir havacılık yakıtı ve ekonomik önlemlerin (kalan boşlukları doldurmak için denkleştirmenin) rolünü kapsayan bir dizi alt senaryo üzerine inşa edilmiştir.

Operasyonlardan ve altyapı verimliliği iyileştirmelerinden gelen potansiyel katkıyı araştırmak ve katılımcıların uzmanlığını geliştirmek için kaynaklar, Waypoint 2050 projesi kapsamında gözden geçirilmiş ve bu kaynaklar operasyon ve altyapı verimliliği iyileştirmeleri aracılığıyla CO₂ emisyonlarının azaltılması için bir dizi potansiyel senaryonun geliştirilmesine yönelik temel olarak kabul edilmiştir. Bunlar arasında, ICAO Committee on Aviation Environmental Protection'ın (CAEP) 10 ve 11'inci toplantısının raporları, IATA Teknolojisi Yol Haritası, CANSO Verimlilik 2050 Hedefi ve İngiltere Sürdürülebilir Havacılık Yol Haritası (2016) bulunmaktadır.

Rapor, sektörün 2050'ye kadar eksi yüzde 50 CO₂ hedefine nasıl ulaşacağına ve küresel düzeyde 2060

veya 2065'e kadar net sıfıra nasıl ulaşabileceğine dair üç senaryoyu analiz etmekte ve bazı bölgeler hedefe daha erken ulaşmaktadır^[25].

Senaryolar, 2050 yılına kadar endüstri hedefini nasıl karşılayacağını ve sonraki yıllarda bunun ötesine nasıl geçeceğini ana hatlarıyla açıklıyor^[8]:

- **Senaryo 0:** Referans senaryodur. İyileştirmelerde ivmelenme olmaksızın mevcut verimlilik eğilimlerinin devamıdır.
- **Senaryo 1: Teknoloji ve Operasyonları Zorlama**
Bu senaryo altında, geleneksel olmayan uçak gövdelerinin ortaya çıkması ve filonun 2035/40'tan itibaren hibrit/elektrikli uçaklara geçişi beklentisiyle teknolojik iyileştirmeler öncelikli ve iddialıdır. Operasyonlara ve altyapı iyileştirmelerine yapılan önemli yatırımlar, önemli iyileştirmeler ve CO₂ azaltımları ile sonuçlanır. Teknoloji, operasyonlar ve altyapı iyileştirmelerinden sonraki CO₂ emisyonları ile 2050 karbon hedefi arasındaki boşluk, SAF'nin kullanımıyla karşılanmaktadır. Bu, yaşam döngüleri boyunca yüksek emisyon azaltma faktörüne sahip önemli miktarlarda SAF gerektirecektir. Bu senaryoya göre, denkleştirmelerin 2050'de merkezi bir rol oynaması beklenmemektedir, ancak 2035-2050 arasında bir geçiş mekanizması olarak gerekli olabilir ve hedefin üzerindeki emisyonlarda kalan eksiklikleri gidermek için kullanılmalı gerekecektir.
- **Senaryo 2: Agresif Sürdürülebilir Yakıt Dağıtımı**
Bu senaryo altında, teknolojiye gelişmeler, mevcut enerji kaynakları ve teknolojilere dayalı olsalar da, "blended wing body" seçenekleri gibi yeni uçak konfigürasyonları ile iddialıdır (sektörün sürdürülebilir yakıtlara yatırıma öncelik vermesiyle elektrikli veya hibritlere önemli bir geçiş değildir). Orta düzeyde trafik artışına rağmen, operasyonlara ve altyapıya yapılan yatırımlar bazı net iyileştirmeler ve CO₂ azaltımlarıyla sonuçlanır. Teknoloji, operasyonlar ve altyapı iyileştirmelerinden sonraki CO₂ emisyonları ile 2050 karbon hedefi arasındaki boşluk, SAF ile karşılanmaktadır (yüksek emisyon azaltma faktörlerine sahip önemli miktarlarda SAF gerektirir). Denkleştirmelerin 2050 hedefine ulaşmada merkezi bir rol oynaması beklenmemektedir, ancak 2035-2050 döneminde bir geçiş mekanizması olarak güvenilebilir.
- **Senaryo 3: İstek Uyandıran ve Agresif Teknoloji Perspektifi**
Bu senaryoda, 100 koltuğa kadar elektrikli uçak, 100-200 koltuk segmenti için sıfır emisyonlu (yeşil hidrojenle çalışan) uçak ve daha büyük uçaklar için hibrit elektrikle çalışan geleneksel olmayan uçak konfigürasyonu ile teknolojik iyileştirmeler çok iddialıdır. Orta düzeyde bir trafik artışına rağmen, operasyonlara ve altyapıya yapılan yatırımlar bazı net iyileştirmeler ve CO₂ azaltımları ile sonuçlanır. Teknoloji, operasyonlar ve altyapı iyileştirmelerinden sonraki CO₂ emisyonları

ile 2050 karbon hedefi arasındaki boşluk, SAF ile karşılanmaktadır (yüksek emisyon azaltma faktörüne -ERF- sahip önemli miktarda SAF gerektirir). Denkleştirmelerin 2050’de merkezi bir rol oynaması beklenmemektedir, ancak 2035-2050 döneminde bir geçiş mekanizması olarak gerekli olabilir.

Hangi senaryonun oynanacağı, önümüzdeki yıllarda çeşitli kararlara dayanacaktır (SAF veya yeni teknolojinin önceliklendirilmesi, SAF’nin çoğaltılması, yatırım vb.)^[25].

Birçok ülke 2050 için net sıfır emisyon hedeflerini uygulamaya koyarken, dünyanın farklı yerlerinde farklı dekarbonizasyon hızları devam etmektedir ve havacılık için hazır çözümlerin olmaması, sektörün ekonominin “azaltılması zor” kısımları kategorisine girdiği anlamına geliyor^[27].

5. YAKIT VERİMLİLİĞİ YÖNTEMLERİ



5.1 IATA - Aircraft Technology Roadmap to 2050

Havacılığın CO₂ emisyonlarını 2050’ye kadar 2005 seviyelerine göre yarı yarıya azaltma stratejisinin dört sütunu olan teknoloji, operasyonlar ve altyapı, SAF ve ekonomik önlemler arasında, **teknoloji ve SAF** toplu olarak en yüksek iyileştirme faydalarını sağlar^[1].

5.2 Teknolojiler

Havacılıkta emisyon azaltımına en büyük katkı, uçak teknolojisi ve SAF’den gelmektedir^[29].

Kilit teknolojiler arasında daha fazla yakıt tasarruflı motorlar, geliştirilmiş aerodinamik, gelişmiş kompozitler gibi hafif malzemeler, ayrıca gelişmiş sistemler (örneğin, tamamen elektrikli uçaklar) ve entegre tasarım bulunur. İtke teknolojileri, yakıt tüketiminde ve dolayısıyla CO₂ emisyonlarında en büyük miktarda azalmayı sağlar^[30].

Her yeni nesil uçak, yerine geçtiği uçağa göre yolcu-kilometre başına yaklaşık yüzde 15 daha az yakıt tüketmektedir. 2014 ve 2019 yılları arasında her yıl ortalama 1.650 yeni ticari uçak teslim edilmiştir^[29].

Teal verilerine göre, havayolları yalnızca 2018’de yeni uçaklara yaklaşık 120 milyar dolar yatırım yaptı. Yeni modeller yüksek verimli motorlara sahiptir ve modern uzun mesafeli çift motorlu uçaklar, yolcu başına yüzde 20’ye kadar yakıt verimliliği iyileştirmesi sağlayan dört motorlu uçakların yerini almaktadır^[3].

COVID-19 krizinden önce birçok uçak operatörü, filolarını yenileme veya genişletme sürecindeydi ve pandemi, birçok eski ve daha düşük verimli uçağın emekliye ayrılmasını hızlandırdı^[29].

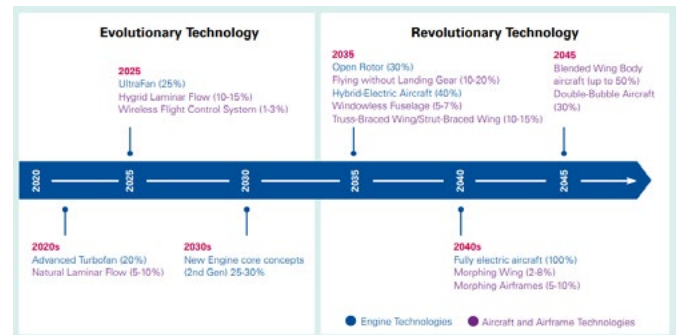
Uçak yakıt verimliliğinin sürekli iyileştirilmesi, 2050 yılı karbon azaltma hedefine doğru çok önemli bir rol oynamaktadır. Yol haritasının odak noktası yeşil uçak teknolojisidir. Aslında, jet çağından başlangıcından bu yana, daha hafif malzemeler, daha yüksek motor performansı ve aerodinamik iyileştirmeler gibi teknolojik yenilikler, yolcu-km veya ton-km başına uçak yakıt tüketimini yüzde 70’in üzerinde azaltmıştır. Gelecekte yeni teknolojilerle önemli ölçüde daha da azaltılması bekleniyor. Bununla birlikte, yeni, daha verimli uçaklar piyasaya sürüldüğünde, pazara yeterli sayıda girmeleri ve faydalarının dünya filo yakıt verimliliği düzeyinde fark edilir hâle gelmesi, hizmete girdikten sonra birkaç yıl alır^[1].

Tarihsel olarak, yeni uçakların yakıt tüketimi 1960’ların sonlarından bu yana yıllık yüzde 1,3 azalmıştır. Son zamanlarda, Boeing 737 MAX gibi daha ucuz “re-engineered” uçakların yaygınlığı ve Boeing 787 Dreamliner gibi “clean sheet” (temiz sayfa) tasarımlarının eksikliği nedeniyle iyileşme oranı düşmüştür^[10].

Şekil 15, 2050’ye kadar 30 yıllık ufukta gelecekteki uçak tasarımlarını ve teknolojilerini göstermektedir.

2030’a kadar olan 10 yıllık dönemde, klasik gövde yapısı, kanat konfigürasyonları ve turbofan motorları ile “evrimsel” gelişmeler göreceğiz. Bu 10 yıldaki temel verimlilik, malzeme seçiminde, geliştirilmiş aerodinamikte ve yüksek baypas motor mimarilerinde olacaktır. Evrimsel teknolojilerin kombinasyonu yakıt verimliliğini yüzde 25-30 oranında artıracaktır. Bunun örnekleri, GE9X motoru veya UHBR Clean Sky projesi ve hizmetteki uçak kanatçıkları için güçlendirme programlarının daha geniş bir şekilde benimsenmesidir.

Küresel ekonomik koşulların elverişli olması şartıyla 2030’dan itibaren, “devrim niteliğindeki” yeni uçak konfigürasyonlarının ve itke sistemlerinin hizmete girmeye hazır olması bekleniyor. Bu radikal yeni uçak tasarımları arasında “strut-braced” kanatlar, Birleştirilmiş Kanat Gövde (BWB) ve hibrit-elektrikli uçaklar yer alıyor.



Kaynak: IATA Technology Roadmap, KPMG analysis

Şekil 15: Evrimsel ve Devrimsel Teknolojiler (yüzde olarak verimlilik potansiyeli ile)^[30].

Devrim niteliğindeki kavramlar ve teknolojiler, önceki uçak veya motorlarla karşılaştırıldığında 2050 yılına kadar en yüksek yakıt verimliliğini sunuyor. 30 yıllık zaman çerçevesinde gelecekteki yeni uçaklardan yüzde 30-40 CO₂ eşdeğeri ek azaltma potansiyeli beklenmektedir^[30].

Koltuk Kategorisi	Uçak Kategorisi	2010 Referansı	Yeni Nesil (örnekler)	Hizmete Girişi	Yakıt Tasarrufu (referansa göre)
51-100	Bölgesel Jet	E-Jet	E-Jet E2-190/-195	2018/2019	%17-%24
101-210	Dar Gövde	A320/B737	A220/A320neo/B737 MAX	2016/2017	%15-%20
211-300	Geniş Gövde	B767	A350/B787	2015/2011	%20-%25
301-400		A330/B777	A330-800neo/B777X-8	2020/2023	%14-%20
401-500		A330/B777	A330-900neo/B777X-9	2018/2022	%14-%20

Tablo 4: Yakın zamanda tanıtılan veya birkaç yıl içinde piyasaya girecek olan yeni nesil uçaklar^[29].

Zaman Çizelgeleri ve Örnekler		Referansa* Kıyasla Jet Yakıt Yanması Üzerindeki Etkisi
Güncel-Operasyonel	Mevcut: Daha yüksek baypas ve basınç oranları, daha hafif malzemeler	%10-15*
Evrimsel gelişme	2025 yılına kadar: Yüksek basınçlı çekirdek + ultra yüksek baypas oranı dişli turbofan	%20-25*
Devrim niteliğinde gelişme	~ 2030: Açık rotor	%30*
	~ 2030-2040: Hibrit elektrikli itki (pil kullanımına bağlı olarak)	%40-80*
	~ 2035-2040: Tamamen elektrikli itki (yenilenebilir kaynaklardan birincil enerji)	%100*e kadar

Tablo 5: Uçak itki teknolojilerinin zaman çizelgeleri ve örnekleri.

*Tüm değerler 2015 yılında yaygın olarak hizmette olan "tube-and-wing" uçakların teknoloji düzeyi ile kıyaslanmıştır.

Zaman Çizelgeleri ve Örnekler		Referansa* Kıyasla Jet Yakıt Yanması Üzerindeki Etkisi
Evrimsel Teknolojiler	Mevcut: Gövde Güçlendirmeleri (kanatçıklar, riblets, hafif kabin döşemeleri)	%6 to 12
	Mevcut: Malzemeler ve Yapı (kompozit yapı, ayarlanabilir iniş takımı, fly-by-wire)	%4 to 10
	2020+: Elektrikli Taksi	%1 to 4
	2030'a Kadar: Gelişmiş Aerodinamik (hybrid/natural laminar flow, variable camber, spiroid wingtip)	%5 to 15
Devrim Niteliğinde Teknolojiler	~ 2030-35: Strut-braced**	%30
	~ 2035: Double bubble uçak gövdesi**	%35
	~ 2035-40: Box/joined wing**	%30-35
	~ 2040: Blended wing body***	%27 to 50
	~ 2035-45: Tam elektrikli uçak (kısa menzilli)	%100*e kadar

Tablo 6: Uçak tasarımı teknolojilerinin zaman çizelgeleri ve örnekleri.

* Tüm değerler 2015 yılında yaygın olarak hizmette olan "tube-and-wing" uçakların teknoloji düzeyi ile kıyaslanmıştır.

** Gelişmiş turbofan motorlarla

*** Hibrit itki ile

Yeni nesil gövde-ve-kanat (tube-and-wing) uçak konfigürasyonlarının 2035'ten önce hizmete girmesi bekleniyor. Bu uçaklar, güncel iterasyonlarla **evrimleşen teknolojileri** içerecektir^[29].

2035'ten sonra, turbofan motorlu tüp-ve-kanat uçakta yakıt ekonomisini daha fazla geliştirme potansiyeli muhtemelen sınırlı olacaktır. **Yeni devrim niteliğindeki** uçak gövdesi ve itki sistemleri teknolojilerinin 2035'ten sonra gerçekleşmesi bekleniyor^[29].

Uçak İtki Teknolojileri İçin Yakıt Yanması ve CO₂ Azaltma Potansiyeli^[29]

Yukarıdaki tabloda belirtilen yakıt tasarruflarının yaklaşık

yüzde 80'i uçak motorundaki iyileştirmelerden kaynaklanmaktadır. Mevcut motor teknolojisindeki evrimin ardından itki sistemlerinde bir devrimden daha fazla gelişme beklenebilir.

Uçak Tasarımı İçin Yakıt Yanması ve CO₂ Azaltma Potansiyeli^[29]

Yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonlarında iyileştirmeler, gövde ve ekipmanın daha üst seviye modelleri yoluyla da yapılabilir. Bu iyileştirmeler, belirtilen teknolojiye sahip olmayan standart bir "tube-and-wing" uçakla ilişkilidir. Sunulan evrimsel ve devrimsel iyileştirmeler, aynı zamanda daha iyi itki sistemlerinin bir sonucudur.

Uzun Vadeli Gelecek İçin Daha Radikal Teknolojiler (2035'den İtibaren)^[29]

- Emisyonları önemli ölçüde azaltma potansiyellerinden dolayı daha radikal uçak konseptleri ve yeni enerji kaynakları üzerinde çalışılmaktadır. Bunların havacılığın küresel karbon ayak izini, 2050 yılına kadar yüzde 50 azaltmaya (2005 seviyelerine kıyasla) yönelik uzun vadeli genel endüstri hedefine ulaşılmasına katkıda bulunabilecekleri tahmin edilmektedir.
- Sektörü bu hedeflere yaklaştırabilecek uçak tasarım çözümleri, uçağın geometrisinde köklü bir değişikliği, radikal olarak yeni itki sistemlerini ve alışılmadık yakıt ve enerjilerin (hibrit ve akü-elektrik, yakıt hücreleri ve yanmalı motorlar için hidrojen) kullanımını içerir.
- “Blended Wing Body” gibi yeni bir gövdedeki hibrit elektrikli uçak, yüzde 40'a kadar CO₂ emisyon azaltımı sağlayabilir.
- Karbonsuz bir kaynaktan üretilen elektriğe sahip tamamen elektrikli bir uçak, operasyonunda CO₂ emisyonlarını tamamen ortadan kaldırabilir.

Bununla birlikte, akülerin yakıtlara kıyasla daha düşük enerji yoğunluğu göz önüne alındığında, uçakların bir kilogram kerosen yerine 50 kilogramdan fazla pil ağırlığı (günümüz teknolojisi ile) taşıması gerekecektir. Pil ağırlığı, yakıtın yaptığı gibi yanmayacağından, tüm uçuş boyunca bu ağırlığı taşımak enerji gerektirir ve özellikle daha uzun uçuşlar için bir yük oluşturur. Elektrikli itki, hibrit veya turboelektrik uçuşla başlayabilir, jet motorları daha az yakıt kullanarak küçüldükçe ve daha hafif hâle geldikçe yakıt verimliliğinde daha fazla iyileştirme sağlayabilir^[3].

- Dokuz koltuk konfigürasyonlu ilk elektrikli yolcu uçağı test uçuşlarına başladı. Çeşitli hava taksilerininin 2025'ten önce ve 15-20 koltuklu konfigürasyonlarının önümüzdeki 10 yılın sonunda hizmete girmesi bekleniyor. Elektrik teknolojilerinin ölçeklendirilmesiyle, kısa menzilli, tamamen elektrikli sivil uçaklar (100-150 yolcu) 2035-40 yıllarına kadar iyimser bir şekilde beklenebilir.
- 2019'dan bu yana, uçaklar için temiz bir tahrik enerjisi olarak hidrojene keskin bir şekilde odaklanıldı.
 - Hidrojen ile bir uçağa güç vermenin iki yolu vardır:
 - **Yakıt pilleri:** Bunlar, hidrojenin (bir tanktan) oksijen (havadan) ile birleşmesinden elektrik enerjisi üretir ve pillere göre daha az ağırlığa sahiptir.
 - **Hidrojen yanması:** Yanmalı motorlarda jet yakıtı yerine hidrojen yakıt olarak kullanılabilir. Motorda nispeten küçük modifikasyonlara ihtiyaç vardır. Tupolev, 1980'lerde hidrojenle çalışan bir yolcu uçağını test etti.
 - Hidrojen, jet yakıtına göre kg başına üç kat daha fazla enerji içerir ancak o kadar hafiftir ki, aynı enerjiyi taşımak için üç kat daha fazla tank hacmine ihtiyaç duyar. Bu nedenle çok büyük tanklara

ihtiyaç vardır ve kullanımı yolcular veya kargo için alanı azaltacaktır. Hidrojenin eksi 253°C'de kriyojenik bir sıvı olarak depolanması gerekir.

Havalimanlarının sıvılaştırılmış hidrojeni depolayabilen yakıt kamyonları da dahil olmak üzere yeni paralel yakıt ikmal altyapılarına ihtiyacı olacaktır. Daha uzun menzilli uçaklar için yakıt ikmal süresi artarak kapı (gate) ve uçak kullanımını etkileyecektir. Hidrojenle çalışan daha küçük uçaklar önümüzdeki 10 yıl içinde uygulanabilir hâle gelebilir^[3].

- Küresel enerji geçişiyle birlikte hidrojenin, dünya çapında mevcut birçok endüstride (sadece ulaşım değil) kullanım için yaygın bir temiz enerji taşıyıcısı hâline gelmesi bekleniyor. Havacılık böyle bir trendden faydalanabilir.
- COVID-19 krizinde Fransız kamu desteği çerçevesinde havacılık sektörüne, hidrojenle çalışan uçak konseptleri yaratmak için 1,5 milyar avro ayrıldı. Airbus, üç farklı model öngörmektedir:
 - Hibrit hidrojen turbofan motorlara sahip, 2000+ nm menzile sahip 200 koltuğa kadar karma kanatlı bir uçak,
 - Hibrit hidrojen turboprop motorlu 1000+ nm menzile sahip 100 koltuğa kadar bölgesel bir uçak,
 - Hibrit hidrojen turbofan motorlu 2000+ nm menzile sahip 120-200 koltuklu bir uçak.

5.3 Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (SAF), tam dekarbonizasyona ulaşabilen bir çözümdür, ancak hem arz hem de talep cephelelerinde zorluklarla birlikte gelir. SAF yakıldığında, geleneksel jet yakıtı ile aynı miktarda CO₂ emisyonu oluşturur. İyileştirme, üretim sürecinin CO₂'yi emmesi ve yaşam döngüsü bazında CO₂ emisyonlarında yüzde 70 ila 100 oranında bir azalmaya yol açmasından, başka bir deyişle daha az karbon-yoğun olmasından kaynaklanmaktadır.

Gelişmiş biyoyakıt kullanımı kısa vadede olası bir çözümdür. Bitkisel veya atık yağlardan yapılan yakıtın teknik fizibilitesi kanıtlanmış, ürün sertifikalandırılmış ve bazı havayolları bu yakıtı günlük operasyonlarında kullanmaktadır. Ancak uygun hammaddeyi ve tedarik zincirini oluşturmak zordur; üretim tesisleri ve rafineriler inşa etmek maliyetlidir. Biyoyakıt için popüler bir bileşen olan kullanılmış yemeklik yağın toplanması pahalıdır. Diğer bitkisel yağların üretim, toplama, taşıma ve yakıt dönüşürme maliyetleri yüksektir.

Hammadde kaynakları ayrıca ormansızlaşma ve monokültürlerin oluşturulması gibi diğer çevresel riskleri de içerir. Biyoyakıtlar için hammadde kaynakları, “gıdanın yakıtı karşı” zorluklarını sınırlamak için dikkatlice seçilmelidir.

Cathay Pacific Airways ve United Airlines gibi bazı havayolları, evsel atıkların nasıl gazlaştırılabileceğini ve ardından jet yakıtına dönüştürülebileceğini göstermek için tesislere yatırım yaptı. Bazı bölgelerde, odun kalıntılarının sürdürülebilir kerosen'e fermantasyonu uygulanabilir bir yol olarak potansiyel göstermiştir.

Alternatif olarak, hidrojenden ve yakalanan karbon emisyonlarından türetilen sentetik yakıt (synfuel) kullanımını ölçeklenebilir bir seçenek hâline gelebilir. Bu tür sentetik yakıt, hidrojen üretmek için su, yenilenebilir elektrik ve CO₂ gerektirir. Bugün, bu “power-to-liquid” yakıtlar, geleneksel kerosen maliyetinin birkaç katıdır, ancak önümüzdeki yıllarda yeşil hidrojen için yenilenebilir elektrik ve elektrolizörlerin maliyetlerinin azalması yoluyla önemli bir maliyet düşüşü beklenmektedir. İlk adımda CO₂, çelik, kimyasallar ve çimento gibi karbon yoğun endüstrilerden atık gaz olarak yakalanabilir.

Uzun vadede -ve net sıfır CO₂'ye dönüşmek için- gerekli CO₂'nin karbon döngüsünden çıkarılması gerekir. Bugün bu maliyetli olsa da, süreç gelecekte daha ucuz yenilenebilir elektrik üretiminden yararlanacaktır.

Sentetik yakıt uzun vadede emisyonların azaltılmasına bir cevap olabilirken, bu noktada hangi SAF kaynaklarının kazanan olarak ortaya çıkacağı belirsizdir. McKinsey tarafından yapılan analiz, kerosen maliyetine göre mevcut SAF maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, zamanla düşeceğini ve iyimser bir senaryoda 2030 ila 2035 arasında başabaş noktasına ulaşabileceğini öne sürüyor^[3].

SAF'ler yalnızca havacılık ile değil, aynı zamanda diğer ulaşım türleri ve ekonomik sektörlerle de bağlantılı küresel bir konu olduğundan (biyokütle için diğer sektörlerle rekabet beklenmektedir), havacılık ve enerji sektörleri arasındaki ortaklığın güçlendirilmesi gerekecektir. Havacılıkta SAF kullanımının teknik fizibilitesi kanıtlandı. Ticari havacılık, endüstri için ihtiyaç duyulan biyoyakıt miktarlarının sürdürülebilir, doğru yerde, eşzamanlı fiyatla üretilmesi durumunda, bu yakıtlara kesinlikle güçlü bir talep olacağı yönünde bir dizi güçlü sinyal göndermiştir^[31].

Aslında, SAF klasik bir tavuk ve yumurta problemi sunar. SAF'nin geniş çapta uygulanmasının önündeki ana engel teknik değil, ekonomiktir, çünkü SAF henüz geleneksel jet yakıtına kıyasla rekabetçi bir maliyetle üretilmemiştir. Havayolları henüz SAF satın almak için uygun bir ticari duruma sahip değildir; sonuçta, küçük ölçekli ekonomileri ve yetersiz finansmanı ile üretim hacmi küçüktür^[3].

5.4 Uçuş Operasyonları ve Altyapı

Havacılık bağlamında “operasyonlar” terimi, uçağın uçuşu, hava trafik yönetim sistemi tarafından hava taşımasının kontrolü ve/veya izlenmesi ve havalimanlarının işletilmesi faaliyetleri dahil olmak üzere geniş bir faaliyet yelpazesini tanımlamak için kullanılabilir.

Operasyonel önlemler mutlaka yeni ekipmanın veya pahalı teknolojilerin kullanılmasını gerektirmez. Bunun yerine, hâlihazırda hizmette olan uçakları kullanmanın farklı yollarından yararlanılır^[32].

Operasyonel bakış açısından, motor çalıştırma, taksi, kalkış, düz uçuş, yaklaşma, iniş, taksi ve motor durdurma aşamaları, bir uçağın operasyon sırasında yakıt tükettiği döngüdür. Bu aşamalarda tüketilen yakıt, uygun bir operasyon planlaması ve stratejisiyle optimize edilebilir. Bu optimizasyon, hem havada hem de yerde operasyonel verimlilik sağlamak için yapılır. Hava taşımanın

gerçek performansı, operasyonel kısıtlamalar, güvenlik, verimlilik, operasyonel planlama ve prosedürler göz önüne alındığında, yakıt ekonomisi teoride mümkün olan seviyelerde elde edilebilir. Bu verimliliği sağlamak için havayollarının kullandığı operasyonel adımlardan bazıları genel olarak şu şekilde sıralanabilir^[33]:

- Uçuş Ağı Düzenlemeleri,
- Uçak Ağırlık Merkezi Optimizasyonu,
- Yakıt Planlaması,
- Uçağa kalkış meydanında dönüş yakıtının da ilave edilmesi (tankering),
- Yer Operasyonları Optimizasyonu,
- Filo Planlama,
- Hava Trafik ve Uçuş Planı Optimizasyonu,
- Taksi Prosedürlerinin Optimizasyonu,
- Uçak Performans Optimizasyonu.

Uçuş başına daha fazla yük (yolcu ve kargo) taşımak ve hedeflere direkt daha fazla uçmak da operasyonların iyileştirilmesi kapsamındadır^[10].

Waypoint 2050 raporuna^[8] göre uçak operasyonları ve altyapı iyileştirmeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

Uçak operasyonlarındaki iyileştirmeler (havayolu ve uçak operatörü odaklı) ağırlığın azaltılması, hizmetteki uçağın aerodinamiğindeki iyileştirmeler ve uçağın operasyonu sırasında verimliliği artıracak sistemlerin kullanılması gibi önlemleri içerir. Dijital yakıt verimliliği yönetim sistemlerinin kullanımı da bu kapsamdadır^[8].

Örneğin, uçak aerodinamik sürüklemesi, yakıt tüketimini artıran faktörlerden biridir. Uçak yaşlandıkça artar. Uçak gövdesi üzerinde hasar görmüş conta, kontrol yüzeyinde uygun olmayan donanım, boya pürüzlülüğü, yontulmuş boya, yıldırım çarpması nedeniyle yapı hasarları, kuş çarpması ve hatta kötü bakım işi nedeniyle kara araçları olduğunda uçak sürtünmesi artar. Uçak yapısının ve motorunun yeni koşullar kadar iyi hâle getirilmesi, havayolu operatörlerinin daha fazla sürüklenmeye neden olmadan uçak aerodinamik verimliliğini korumalarına olanak tanır^[34].

Altyapı iyileştirmeleri (hava trafik yönetimi ve daha az ölçüde havalimanı operasyonları), hava trafik yönetimi (ATM) operasyonlarındaki yapısal değişiklikler, yardımcı güç ünitelerinin kullanımındaki sınırlamalar, tek motorlu taksi ve azaltılmış taksi süreleri gibi havalimanındaki enerji tasarrufu önlemlerini içerir. Havalimanı ve hava sahası altyapısı iyileştirmeleri, yeni uçuş rotalarının, havalimanı pistlerinin, daha yakıt verimli operasyonlara izin veren prosedürlerin veya ekipmanların oluşturulması ve kurulmasını içerir.

Hava trafik yönetimiyle ilgili kapsamda performans dayalı navigasyon (PBN), gerekli seyrüsefer performansı (RNP), uzay tabanlı navigasyon, sürekli tırmanma/alçalma, esnek yollar/serbest rotalı hava sahası, 4D Yörünge Tabanlı Operasyonlar (TBO) gibi önlemler bulunmaktadır^[8].

Örneğin, sürekli tırmanma ve alçalma işlemleri (continuous climb/descent operations -CCO/CDO) çalışma stratejileridir. CCO ve CDO, uçağın büyük doğal ve finansal avantajlar sağlayan uyarlanabilir ve ideal bir uçuş yolunu izlemesini sağlar. Bu avantajlar şunları içerir: Yakıt yanmasında azalma, küresel gaz emisyonunda azalma, gürültü ve yakıt maliyetleri^[16].

Hava gecikmesini ve havalimanı yakınında hava trafiği tıkanıklığını azaltmak için GPS tabanlı navigasyon gibi teknolojiler kullanılmaktadır. ICAO, 2008 yılında, iyileştirilmiş hava trafiği yönetimi yoluyla sistem genelinde yakıt verimliliğinin yüzde 12 oranında iyileştirilebileceğini tahmin etti. Sonraki analizler, bu potansiyelin yarısına (yüzde 6) ulaşıldığını ve önmüzdeki 10 yıl içinde yüzde 3'lük iyileştirmenin daha mümkün olduğunu buldu^[10].

Havalimanı ve hava sahası altyapı iyileştirmeleri aşağıdakilerin oluşturulmasını ve kurulmasını içerir^[1]:

- En uygun, yeni uçuş rotaları ve havalimanı pistleri,
- Daha yakıt verimli operasyonlara izin veren ve havalimanlarının yakınında hava trafiği tıkanıklığını önleyebilen gelişmiş hava trafik yönetimi prosedürleri veya ekipmanı.

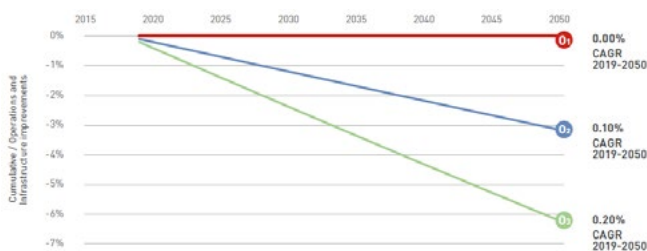
Havalimanında işbirliğine dayalı karar verme de bu kapsamdadır.

Operasyonlardan ve altyapı verimliliği iyileştirmelerinden kaynaklanan genel emisyon azaltımları -kendi başlarına- hedefe ulaşmak için yeterli olmasa da, bu önlemler genellikle uçak seviyesinde uygulanan teknolojilerden daha hızlı bir ölçekte uygulanabilir. Bu nedenle operasyonların ve altyapı verimliliği iyileştirmelerinin etkileri, özellikle yakın vadede önemli katkılar sağlayacaktır, ancak anılan verimlilik önlemlerine yönelik fırsatlardan ilk yıllarda tamamen yararlanıldığından, uzun vadeli emisyon planları üzerinde yalnızca sınırlı bir etkiye sahip olacaktır.

Hava aracı operasyonları ve altyapısından elde edilen net gelişme, uçuş veya hareket sayısı açısından ölçülen trafikteki temel büyümeye bağlıdır^[8].

Havayolu operatörleri, operasyonel prosedürlerin ve güvenlik kurallarının kapsamının dışına çıkmadan yakıt tüketimini kontrol etmek zorundadır.

Yıllık bazda operasyonel ve altyapı verimliliklerine yönelik potansiyel yolları göstermek için üç basit senaryo geliştirilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16: Waypoint 2050 için operasyonel verimlilik senaryoları.

Düşük iyileşme (O1): Operasyonlara ve altyapıya yapılan yatırımlar, trafik artışlarından kaynaklanan tıkanıklık nedeniyle düşen ATM performansı ile dengelenir. Bu senaryoda herhangi bir gelişme görünmese de, trafik artışına rağmen mevcut verimliliği korumak, sistemin performansında ve verimlilikte düşüşü önlemek için ATM iyileştirmelerine yatırım yapılmasını gerektirecektir^[8].

Orta iyileşme (O2): Operasyonlara ve altyapıya yapılan önemli yatırımlar, yıllık yüzde 0,10 (net) katkı ile 2050'de yüzde 3+ genel CO₂ azaltımı ile sonuçlanır.

Yüksek iyileşme (O3): Operasyonlara ve altyapıya yapılan önemli yatırımlar, yıllık yüzde 0,20 (net) katkı ile 2050'de yüzde 6+ genel CO₂ azaltımı ile sonuçlanır^[8].

Havayolları, gerçek tasarruf potansiyelini göstermek için farklı uçuş aşamalarında ve atmosferik koşullarda yakıt tüketimini doğru bir şekilde tahmin edebilir^[35].

Yakıt optimizasyonu için uçuş aşamaları sırasıyla seyir, tırmanma, alçalma, kalkış, iniş ve taksit şeklinde tanımlanabilir. Kalkış ve tırmanış sırasında en yüksek yakıt akışı oranı (fuel flow-burn rate) meydana gelir. Bununla birlikte, "en-route" seyir segmentinde en fazla miktarda yakıt yanması görülür. Optimizasyondan en fazla yararlanabilecek uçuş aşamaları, uzun mesafeli uçuşlar için seyir aşaması, orta mesafeli uçuşlar için toplam yakıtın yüzde 30'una kadar tüketen ancak aynı zamanda en karmaşık olan ve uçak yükseldikçe birçok parametrenin değiştiği tırmanma aşamasıdır. Optimizasyon için uçak kuyruk numarasına özel performans modellerinin yakıt verimliliği girişimlerine uygulanması tasarruf potansiyeli ve uyumluluğun net bir resmini ortaya çıkarır.

Bir uçağın kesintisiz olarak optimum uçuş seviyesine ulaşmasını ve bu seviyeyi korumasını sağlamak, tırmanma aşamasında büyük oranda yakıt yanması meydana geldiğinden yakıt verimliliğini artırmak ve karbon emisyonlarını en aza indirmek için kilit bir faktördür.

İnişte de uçak ağırlığı, rüzgâr ve diğer faktörler hesaba katılarak en uygulanabilir alçalma yöntemi hesaplanabilir. Ayrıca, yakıt tüketimini en aza indirmek için, iniş sırasında rölantide itme önerilir, çünkü itme uygulaması gerektiren alçalma yöntemleri yakıt yanmasını artıracaktır.

ICAO Sürekli Alçalma Operasyonları (CDO) Kılavuzu (Doc 9931) ve Sürekli Tırmanma Operasyonları (CCO) Kılavuzu (Doc 9993), çevre dostu varış ve kalkışların tasarımı, uygulanması ve işletilmesi konusunda rehberlik sağlar. Bunun tam olarak uygulanabilmesi için, ATM araçlarının ve tekniklerinin, özellikle kalkış ve varış yönetim araçlarının, kalkış ve varış akışlarının sorunsuz ve uygun şekilde sıralanmasını sağlamak için uygulanması ve/veya güncellenmesi gerekir^[35].

5.5 Yakıt Verimliliği Yönetim Sistemleri

Bir uçuş için gereken yakıt miktarını optimize etmek, uçuş rotasına, hıza, irtifaya, ağırlığa ve çeşitli faktörlere bağlı birçok karmaşık hesaplamayı içermektedir.

Havayolları genellikle bu hesaplamalarla ilgilenmek için uçuş planlama ve yakıt verimliliği yazılımları kullanırlar. Verimli uçuş pilot uçağa binmeden çok önce başlar. Uçuş öncesi yükleme ve rota planlaması, dispeçerler, meteoroloji uzmanları, yük planlayıcılar ve daha fazlası tarafından gerçekleştirilir. Gerçek tasarruf, her uçuştan önce yapılan planlamayla gerçekleştirilir^[37].

Uçağın uçmak zorunda olduğu verimsiz rotalar nedeniyle tüm havacılık yakıtlarının yüzde 8'inin boşa gittiği tahmin edilmektedir. FMS (uçuş yönetim sistemi) uçak merkezlidir, kritik bir sistemdir ve son derece güvenilir olması gerekir. Ancak, bu "denenmiş ve test edilmiş" güvenilirlikle birlikte hesaplama gücü, performans ve navigasyon veritabanları için depolama kapasitesi vb. açısından sınırlı yeteneklere sahiptir. Bu nedenle yakıt verimliliğine yönelik optimizasyon hesaplamaları, bilgisayarlar kullanılarak yerde yapılır. Uçak üreticisinin genel performans modelleri yerine her kuyruk numarası için geçmiş uçuş verilerine makine öğrenmesi uygulayarak elde edilen makine öğrenmesi tabanlı gerçek performans modelleri kullanılır.

Havayollarının bir yakıt verimliliği çözümünü uygulamayı düşünürken, veri entegrasyonu sorunlarını da önceden tahmin etmeleri gerekir: Uçuş Veri Kaydı (QAR/FDR) veri akışı ve gerekli formata dönüştürme, Havayolu Operasyon Merkezi (AOC) verileri, Operasyonel Uçuş Planı (OFP) verileri ve diğerleri (ACARS, Ağırlık ve Denge, vb.).

Tüm veriler dikkate alınarak havayoluna en iyisini önermeden önce binlerce kombinasyon hesaplanır. Bu optimizasyon hesaplamaları yapıldıktan sonra sonuçlar, her uçuş için uygulanmak üzere briefing paketinin bir parçası olarak pilotlara gönderilir.

Tabii ki, tüm meyveler ağaçta alçakta asılı değildir. Çekici ve gerçek değer sunabilen, kolay ulaşılamayan yüksekte asılı meyveler de vardır. Yakıt verimliliğinin "operasyonların iyileştirilmesi" kısmında, kullanıcılar bu «yüksek meyvelerden» yararlanmak için daha karmaşık yazılım çözümlerine ihtiyaç duyacaklardır. Bununla birlikte, uygulamaların kolay ve süreçteki herkesin anlayacağı şekilde olması önemlidir. Çok karmaşık olan ve uygulanması yıllara ihtiyaç duyan çözümler asla tamamlanamayacaktır.

Tek bir uçakta ve filo düzeyinde yakıt ve performans verilerini analiz etmek ve ardından toplu verilere dayalı stratejiler uygulamak, operatörlerin yakıt verimliliğini en üst düzeye çıkarmasına ve maliyetleri ve karbon emisyonlarını en aza indirmesine yardımcı olabilir.

9. Bölümde anlatılan IATA'nın Yakıt Verimliliği Programı Geliştirme yaklaşımı, "tanımla-ölç-analiz-et-iyileştir-kontrol" (DMAIC) süreci gibi Yalın Altı Sigma yönetim konseptlerine dayalı bir yakıt programı oluşturmada ve uygulamada havayollarına yardımcı olur. Tüm operasyonel alanları gözden geçirdikten ve mevcut prosedürlerle potansiyel yakıt tasarrufu fırsatlarını ortaya çıkaran en iyi uygulamalar arasındaki boşlukları belirledikten sonra, havayolu kurumsal bir yakıt sürecini tanımlar, uygular ve yönetir^[38].

Bir yakıt verimliliği çözümünü uyguladıktan sonra, bakım, yer operasyonları, uçuş planlaması ve ticari taraflar için ek yakıt tasarrufu potansiyelleri de ortaya çıkacaktır.

Potansiyel yakıt tasarrufları çok fazladır. Yakıt yönetiminde ilerlemeyi sağlamak için değişikliklerin nereye (filodaki her bir uçak tipine, her rotaya, farklı havalimanlarına vb.) uygulanabileceğine odaklanmak gerekmektedir.

Daha sonra, önemli olan yakıt tasarrufu girişimlerine sürekli bir iyileştirme döngüsü uygulamakla ilgilidir: Planla, Yap, Kontrol Et, Önlem Al^[39].

Dijital çağ, pilotların ve havayollarının yakıt verimliliği söz konusu olduğunda davranışlarını değiştirmek için kullanabilecekleri bilgisayar tabanlı çözümler sağlamaktadır.

Dijitalleşmenin bir diğer büyük gücü, yapay zekâ ve büyük veri aracılığıyla, yakıt verimliliği alanında çok daha etkili sonuçlar için maliyet ve çevresel açıdan kritik kararların çok daha iyi yönetilebildiği büyük bilgi hacmini kullanabilmesidir.

Yapay zekâ, geleneksel yöntemlerle elde edilmesi zor olabilecek değerli bilgiler sağlayarak havacılık endüstrisinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Uçuş kayıt cihazlarından gelen milyarlarca veriyi otomatik olarak analiz etmek için büyük veri algoritmaları, yapay zekâ ve makine öğrenmesi kullanılmaktadır. Bu veriler gerçek uçuş koşullarından (yük, hava koşulları, uçuş rotası, ATC kısıtlamaları, vb.) verilerle birleştirilerek uçuşun tüm aşamalarında en uygun yakıt tasarruf fırsatları güvenlikten ödün vermeden tanımlanabilir. Filo, rota ve bireysel uçuş aşaması düzeyinde operasyonel verimlilik iyileştirmeleri değerlendirilebilir.

Ek olarak, yapay zekâ, havacılık endüstrisindeki zaman alıcı faaliyetlerin optimize edilmesine yardımcı olur ve daha iyi insan-makine işbirliğinin yolunu açar.

Pilotları daha az yakıt tüketmeye daha istekli hâle getirmek için kişiselleştirilmiş geribildirimler ve optimum yönetim uygulamaları da sunulmaktadır. Pilotlar, geliştirilmiş bu uygulamaları kullanarak gelecekteki kararları iyileştirmek için yakıt tasarrufuna yönelik geribildirim alabilir ve kendi uçuşlarını üç boyutlu olarak inceleyebilir. Bu tür geribildirimlerin pilot davranışını olumlu yönde etkileyebileceği ve yakıt verimliliğini artırabileceği yönünde sonuçlar alınmıştır.

Örneğin, bir davranış bilimi projesinde, Virgin Atlantic Airways, davranışı değiştirmek için ince müdahaleler kullanmanın pilotların daha az yakıt kullanmasını nasıl sağlayabileceğini başarılı bir şekilde gösterdi.

Bu havayolu, pilotlarının 335'ini rasgele dört gruba ayırdı. Bir grubun üyelerine (kontrol grubu), daha fazla bilgi olmadan, yakıt kullanımı çalışmasının parçası olduklarını bildirdi. Deney gruplarına yakıt yüklemesi, optimize edilmiş uçuş ve verimli taksi kullanımı gibi aylık değerlendirmeler dahil olmak üzere yakıt kullanımları hakkında geribildirim sağladı. Araştırmacılara göre, her üç deney grubu da kontrol grubuna göre daha fazla yakıt tasarrufu yaptı ve "toplum yanlısı" gruptaki pilotlar (hedeflerine ulaşırlarsa şirketin hayır amaçlı bir bağış yapacağı söylenenler) en yüksek iş tatmin düzeyini bildirdi^[3].

Havayolunda yakıt tasarrufu girişimlerinin başlatılması söz konusu olduğunda, çalışanların yönetimle aynı düşüncelerde olması için eğitim de önemlidir. Yakıt tasarrufu bilgisine sahip bir havayolu şirketinin çalışanları, yakıt



tasarrufu planlarının başarılı olması için çok önemlidir. Çalışanlar, farklı yakıt tasarrufu girişimlerinin neden ve sonuçlarının farkına vardıklarında, şirkette yakıt tasarrufu girişimlerini uygulama sürecini kolaylaştırır^[34].

Yakıt verimliliği söz konusu olduğunda pilotlar ve dispeçerler, kısıtlamaları ve prosedürleri herkesten daha iyi bildikleri için kilit oyuncular. Taahhütleri olmadan iyi bir verimlilik programına sahip olmak imkânsızdır.

Uçaktaki ekiplerin ve mühendislerin uçağı kullanma şekli yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu çerçevede düzenli eğitimler, ilgili prosedürlerin uygulanmasının teşvik edilmesi, havayolları ve üreticiler arasında sürdürülebilir etkileşim programları geliştirilmesi, deneyimlerin paylaşılması önemlidir^[8].

5.6 Ekonomik Önlemler

Emisyonlar 2020'ye kadar büyümeye devam ederken, havacılık sektörü net emisyonlarını 2020 seviyesinde sınırlamayı kabul etti. Bu noktadan itibaren, havacılık endüstrisinin operasyonel, teknolojik veya altyapı önlemleri yoluyla veya biyoyakıt kullanarak azaltmadığı herhangi bir emisyonun, piyasaya dayalı önlemlerle dengelenmesi gerekecektir^[5].

Piyasaya dayalı önlemler havacılık sektöründeki fiziksel emisyonları azaltmaz, ancak daha uygun maliyetli oldukları diğer sektörlerde emisyonların azaltılmasına yardımcı olur^[1].

Karbon denkleştirme veya CO₂ kompanzasyonu, başka yerlerde emisyonları azaltarak, CO₂ emisyonlarını telafi etmenin büyük ölçekli ve sektörden bağımsız yöntemlerini sağlar. Havayolları, denkleştirme konusunda hemfikir; gerçekten de endüstrinin küresel yeniden ağaçlandırma için kilit bir sponsor olması bekleniyor. Denkleştirme aynı zamanda, bir sonraki bölümde anlatılan ICAO'nun karbon azaltma girişimi olan Uluslararası Havacılık için Karbon Denkleştirme ve Azaltma

Planı (CORSIA) gibi piyasaya dayalı önlemlerin temelini oluşturur.

Denkleştirme, havayollarının kendi ayak izlerini azaltma çabalarından bağımsız olarak, emisyonları telafi etmek için projelere dünya çapında yatırım yapılmasını sağlar. Ağaç dikmek ve CO₂'yi yakalamaları için büyümelerine izin vermek, yakalanan metrik ton CO₂ başına 5-10 dolar kadar düşük bir maliyete sahip olabilir. Bu, kısa mesafeli bir uçuşta yolcu başına bir dolardan daha az bir bilet fiyatı artışı anlamına gelir. Ağaç dikme gibi doğa temelli çözümlerin yanı sıra, denkleştirme projeleri, diğer alanların yanı sıra kaynak geri kazanımı (çöp sahalarından metan yakalama gibi), yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve verimsiz yakıtları daha temiz ve ekonomik alternatiflerle değiştirme (yakıt değiştirme) ile de ilgili olabilir.

Yine de uzun vadeli bir çözüm olarak denkleştirme tartışmalıdır. Bazı eleştirmenler bunu yeşil göz boyama (greenwashing) girişimi olarak görüyor. Birçoğu, denkleştirmenin emisyon üretenlerin üzerindeki baskıyı başka yollarla hafifletebileceğinden de endişe duyuyor: Dengeleyerek daha iyi hissedebilirler ve diğer emisyon azaltma önlemlerini uygulamaya koymayı düşünmeyebilirler. Güvenilir bir çevresel ayak izi stratejisi, kalan emisyonları denkleştirmenin yanı sıra, SAF'nin rolü zamanla büyüdükçe yenilenecek filolar yoluyla emisyonların azaltılması, yakıt verimliliği ve diğer önlemleri içerir.

Birçok havayolu, CORSIA'nın ötesine geçen büyük denkleştirme taahhütlerinde bulunmuş ve müşterilerine de ilgili maliyetleri kendilerinin ödemeleri seçeneği sunmuştur. Bununla birlikte, genel olarak, havayollarının yalnızca yaklaşık yüzde 50'si müşterilere uçuş emisyonlarını denkleştirme fırsatı sunuyor ve bu fırsatın seçimi müşterilerin ayrı bir web sitesine yönlendirilmesiyle külfetli olabilmektedir. Anketlerden görüldüğü üzere, az sayıda yolcu (yüzde 1'den az) gönüllü karbon denkleştirmeden yararlanmaktadır^[3].

6. ULUSLARARASI HAVACILIĞA YÖNELİK KARBON DENKLEŞTİRME VE AZALTMA ŞEMASI (CORSA)

Havacılık, yukarıdaki hedefler sonrasında olağanüstü ilerleme kaydetmiştir. Kısa vadeli yakıt verimliliği hedefi hâlihazırda karşılanmaktadır. 2016 yılının Ekim ayında ICAO, ikinci hedefin mümkün kılınacağı ekonomik mekanizma olan “**Uluslararası Havacılık için Karbon Denkleştirme ve Azaltma Şeması**”nın (CORSA) uygulanmasında mutabık kalmıştır. Mutabık kalınan karar, küresel planın amaç ve temel tasarım unsurlarını ve ayrıca modalitelerin uygulanmasına ilişkin çalışmanın tamamlanması için bir yol haritasını ortaya koymaktadır^[40].

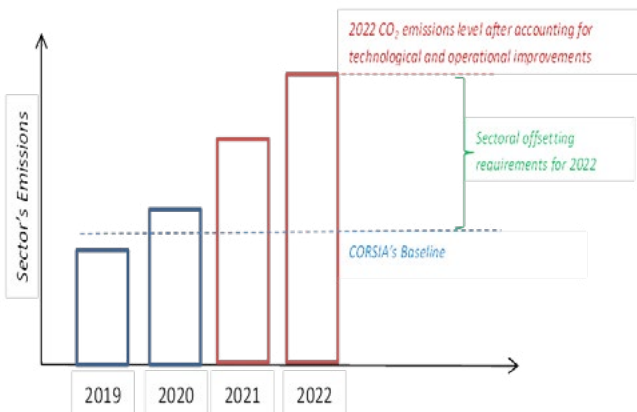
ICAO'daki anlaşma, havacılığın taahhütlerini yerine getirmeye ve emisyon azaltımı için uluslararası hedefleri karşılamada kendi rolünü oynamaya kararlı olduğunu gösteriyor.

CORSA, uluslararası havacılık endüstrisi için küresel bir programdır. Teknolojik ve operasyonel iyileştirmeler ve SAF'nin kullanımına rağmen azaltımı mümkün olmayan CO₂ emisyonlarının uygun emisyon birimlerinin kullanımıyla dönüşümünü esas almaktadır.

CORSA, 2021 yılından itibaren toplam yıllık CO₂ emisyon miktarının temel emisyon miktarına oranla ölçümü üzerinden bir karşılaştırma yaklaşımını benimsemektedir. Temel emisyon miktarı, CORSA kapsamına giren 2019 ve 2020 yıllarına ait uluslararası havacılık faaliyetlerinin ürettiği ortalama CO₂ emisyon miktarı olarak tanımlanmıştır (Ancak COVID-19 salgınının 2020 yılında uluslararası taşımacılık faaliyetlerine etkisi nedeniyle yalnız 2019 verilerinin baz alınması beklenmektedir).

Takip eden yıllarda CORSA kapsamına giren ve temel emisyon miktarını aşan CO₂ emisyonları ilgili yılda sektörün o yıla ait dönüşüm yükümlülüğünü belirleyecektir. Aşağıdaki grafik 2022 yılı için bir örnek göstermektedir.

Sektör dönüşüm yükümlülüğü, CORSA'da yer alan havayolu işletmeleri tarafından sektör büyüme etkeni ve



Şekil 17: Sektör Dönüşüm Yükümlülüğü Örneği^[41].

her bir taşıyıcının kendisine ait CO₂ emisyonuna göre paylaşılacaktır.

CORSA, sözleşmeye taraf devletlerin gönüllü katılımı ile pilot ve birinci aşamalar dahil üç faz hâlinde icra edilecektir. Takip eden süreçte dönüşüm yükümlülüğünden muaf tutulan (düşük havacılık faaliyeti olan gibi) devletler hariç tüm devletler programda yer alacaktır.

- Pilot Uygulama Dönemi : 2021 – 2023;
- Birinci Evre : 2024 – 2026;
- İkinci Evre : 2027 – 2035.

Uygulamada yer alan tüm devletlerin havayolu işletmelerinin uluslararası uçuşlarından doğan CO₂ emisyonları için bir izleme, raporlama ve doğrulama sistemini 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla uygulamaya almış olmaları gerekmektedir. Uluslararası havacılıktan doğan CO₂ emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması emisyon dönüşüm yükümlülüklerinden bağımsızdır ve raporlanan veriler CORSA temel emisyon miktarının hesaplanmasında ve havayolu işletmelerinin emisyon dönüşüm yükümlülüklerinin belirlenmesinde esas alınacaktır.

Türkiye Cumhuriyeti pilot uygulama döneminden başlayarak CORSA uygulamasında yer almaktadır. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Uluslararası Havacılığa Yönelik Karbon Denkleştirme ve Azaltma Şeması Uygulama Talimatı (SHT-CORSA) uyarınca uygulama kuralları belirlenmiştir^[42].

Havacılık endüstrisi, havacılığın sürdürülebilir büyümesi için teknolojinin, operasyonların ve altyapı önlemlerinin uzun vadeli çözümler sağlayacağından emin durumdadır. Bununla birlikte, endüstri, bu çözümlerden kalan emisyon açığını kapatmak için MBM gerekebileceğini kabul etmektedir. Bu nedenle, havacılık için MBM, yalnızca havacılığın CO₂ emisyonlarını ele alan geniş bir önlem paketinin parçası olarak düşünülmelidir; hava yolculuğu talebini bastırmaya veya genel gelirleri artırmaya odaklanmamalıdır^[43]. Küresel MBM planı, bölgesel ve yerel önlemlerden oluşan bir yama çalışmasına kıyasla tercih edilen yaklaşımdır.

MBM, çevresel hedeflere geleneksel düzenleyici önlemlerden daha düşük bir maliyetle ve daha esnek bir şekilde ulaşmak için tasarlanmış bir önlem aracıdır. MBM örnekleri arasında vergiler, emisyon ticaret sistemleri ve karbon denkleştirme yer alır^[41].

Havacılığa uygulanan herhangi bir MBM, kapsam açısından küresel olmalı, adil rekabeti korumalı ve farklı tür ve düzeylerdeki operatör faaliyetlerini hesaba katmalıdır. Bugünün hava taşımacılığı sisteminin güvenli, düzenli ve verimli işleyişi, yönetmeliklerde, standartlarda ve prosedürlerde yüksek derecede tekdüzellik sağlamaya dayanmaktadır. Tek taraflı önlemlerin kullanılması bu temeli baltalamaktadır. Bir devlet veya bir devletler grubu içinde mevcut tedbirlerin tekrarından veya tedbirlerin katmanlaştırılmasından kaçınmak için özel dikkat gösterilmelidir^[43].

MBM, Bölüm 3'te anlatılan Hedef 1 (2009'dan 2020'ye kadar yakıt verimliliğinde yıllık ortalama yüzde 1,5'lik bir iyileşme sağlama) eylemlerini tamamlayıcı

rolüyle sektörün 2020 orta vadeli karbon-nötr büyüme hedefini karşılamasını sağlayacak unsurlardan biridir (Bk.Tablo 3)^[21].

Esasen, havayolları Ocak 2019'da emisyonları titizlikle izlemeye başlayacak ve ardından 2021'den itibaren 2020 seviyelerinde emisyonları sınırlandıracaklardır.

Havayollarının yapması gerekenler aşağıda belirtilmiştir:

- Tüm uluslararası rotalardaki emisyonları izlemek,
- Diğer sektörlerdeki emisyonları azaltan projeler (örneğin yenilenebilir enerji) tarafından üretilen uygun emisyon birimlerini satın alarak programa dahil edilen rotalardan kaynaklanan emisyonları denkleştirmek.

Anlaşma şartlarına göre sürekli iyileştirmeyi de sağlayacak şekilde planın düzenli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir. Programı işlevsel hâle getirmek için gerekli uygulama kurallarının ve araçlarının geliştirilmesi için ICAO'da çalışmalar devam etmektedir. CORSIA'nın etkili ve somut uygulanması ve operasyonel hâle getirilmesi, nihayetinde yerel düzeyde geliştirilecek ve uygulanacak ulusal önlemlere bağlı olacaktır^[40].

IATA, 2020'de pandemiyle ilgili hava yolculuğu kısıtlamasının neden olduğu CO₂ emisyonlarındaki önemli düşüş nedeniyle ICAO'dan 2019-2020 ortalama rakamlarını kullanmak yerine CORSIA temel çizgisi (baseline) olarak 2019 CO₂ emisyon rakamlarını kullanmasını istedi. Bu, sürdürülebilirlik açısından olumsuz bir işaret olarak değerlendirilebilir, çünkü hava taşımacılığı endüstrisi olması gerekenden daha az iddialı hedefler benimseyecektir^[44].

7. VERİMLİLİKLE İLGİLİ BÜYÜK PROGRAMLAR

Verimlilik sağlayabilecek, hava sahasının geniş alanlarında uygulanmakta olan büyük programlar vardır. Bunlar aşağıda özetlenmektedir:

Single European Sky (SES) (Tek Avrupa Gökyüzü)

AB'nin iddialı Tek Avrupa Gökyüzü girişimi, Avrupa hava sahasının bölünmesini azaltarak hava trafik yönetimi ve hava seyrüsefer hizmetlerinin verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır.

SESAR (Avrupa)

Tek Avrupa Gökyüzü Hava Trafik Yönetimi Araştırması (SESAR), AB'nin hava trafik yönetimi modernizasyon programıdır.

SES girişiminin teknolojik direği olan SESAR, tüm Ar-Ge faaliyetlerini hava trafik yönetiminde yoğunlaştıran mekanizmadır. Avrupa'nın ihtiyaç duyduğu unsurları tanımlamayı, geliştirmeyi ve uygulamayı amaçlamaktadır.

SESAR'ın 2035 yılına kadar operasyonel verimlilik hedeflerinden biri, uçuş başına yakıtın ortalama olarak yaklaşık 250-500 kg azaltılmasıdır (temsili bir uçuş için yaklaşık 4.800 kg ortalama tüketimin yaklaşık yüzde 5-10'u). Bu hedef, "gate-to-gate" alan içindeki yakıt tüketimine yöneliktir ve iki tür verimliliği kapsar: Havalimanı yüzeyindeki verimliliği ve uçuş yörüngesi boyunca hem yatay hem de dikey uçuş profili verimliliği.

SESAR'ın yakıt tüketimini yaklaşık 250-500 kg azaltma hedefi, çalışma ortamlarına göre ortalama olarak aşağıdaki gibi mümkün olacaktır^[45]:

- *Havalimanı Yüzey İşlemleri*: Daha verimli taksi operasyonları ile yakıt tüketiminde uçuş başına 3.875 kg azalma (Uçuş başına taksi yakıtı tüketiminde ortalama yüzde 30 azalmayı temsil eder).
- *Terminal Manevra Alanı (TMA) Tırmanma/İniş İşlemleri*: Aşağıdaki yöntemlerle yakıt tüketiminde uçuş başına 162-325 kg azalma;
 - Uçuş başına tırmanma/alçalma yakıt tüketiminde ortalama yüzde 10'luk bir azalmayı temsil eden daha verimli tırmanış ve iniş profillerinin kullanımı,
 - Operasyonel yöntemlerle iniş aşamasında "stack"-lerin ve/veya "holding" paternlerinin kullanımının azaltılması,
- *"En-route" Seyir Operasyonları*: Daha direkt seyir (cruise) yörüngeleri ve daha verimli dikey profiller kullanarak yakıt tüketiminde uçuş başına 50-100 kg azalma (Uçuş başına "en-route" yakıt tüketiminde ortalama yüzde 2,5'lik bir azalmayı temsil eder).

Clean Sky 2 Ortak Teknoloji Girişimi

Clean Sky 2 Ortak Teknoloji Girişimi, Avrupa'da havacılık ve havayolu ulaşımında en büyük ölçekli Ar-Ge ve yenilik programıdır. Yaklaşık dört milyar avroluk bütçeye sahiptir.

AB'nin Clean Sky 2 Ortak Teknoloji Girişimi, "Ultra Yeşil" ve "Son Derece Uygun Maliyetli Hava Taşımacılığı Sistemi" hedef kavramlarına katkıda bulunan yenilikçi teknolojileri geliştirmek ve göstermek için kuruldu. Hedeflerinden biri, "2014 yılından itibaren hizmete giren 'son teknoloji' uçağa kıyasla uçak yakıt verimliliğini artırarak CO₂ emisyonlarını yüzde 20 (2025) ve yüzde 30'a (2035) düşürmektir. Clean Sky 2 programı, yeni teknolojilerin gelecekteki uçak tasarımı ve operasyonlarına uygulanmasını kolaylaştırmak için tam ölçekli demonstrasyonlar, gelecekteki uçak konfigürasyonları ve operasyonel ortamlarını temsil eden testleri içerir.

NextGen (ABD)

NextGen, tüm ABD hava trafik yönetim sisteminin geniş kapsamlı bir dönüşümüdür. Yer tabanlı teknolojileri yeni ve daha dinamik uydu tabanlı teknolojilerle değiştirecektir.

8. YERLİ HAVAYOLLARINDA UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Ülkemizde Türk Hava Yolları (THY), çevreyi korumak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için yakıt verimliliğini artırma ve karbon ayak izi azaltma girişimleri sayesinde, 10 yıl öncesine göre yüzde 20 daha verimli uçuşlar gerçekleştirmektedir.

Sera gazı emisyonlarını en aza indirmek ve kontrol altına almak için operasyonel iyileştirmeler yapmakta, yakıt verimliliğini artırmaktadır. Bu amaçla, kapsamlı bir yakıt tasarrufu politikası geliştirmiş, yakıt verimliliği programı kapsamında yakıt verimliliğini sürekli ölçmekte ve izlemektedir.

THY'nin yakıt verimliliği politikası üç temele dayanmaktadır:

1. Operasyonların Optimizasyonu,
2. Yeni Teknolojiye Yapılan Yatırımlar,
3. Altyapının Geliştirilmesi.

THY'de 2008 yılından bu yana, karbon ayak izi azaltmak için 100'den fazla operasyonel optimizasyon projesi başlatılmış ve başarıyla uygulanmıştır. Bu projelerden bazıları şunları içermektedir: Yardımcı Güç Ünitesi (APU) kullanımının optimize edilmesi, yeni optimize uçuş planlama sisteminin devreye sokulması, rotaların ve uçak hızının optimize edilmesi, uçak ağırlığını azaltma uygulamaları (fly away kitler, dergiler, kaplar, içme suyu, ikram ekipmanları), ağırlık merkezi (CG) optimizasyonu ile winglet ve sharklet gibi uçak modifikasyonlarıdır. Bu uygulamalar sayesinde THY, 2019 yılında 55.492 ton yakıt tasarrufu yaparak, 174.800 ton CO₂ salımı önlenmiştir.

Yeni teknolojiye yapılan yatırımlar kapsamında filo modernizasyonu, biyo-yakıt araştırma, modern 4D planlama sistemleri, yakıt yönetimi ve takip yazılımları bulunmaktadır.

Bu bağlamda yüzde 15 daha fazla yakıt verimliliğine ve daha düşük emisyon değerlerine sahip yeni nesil uçaklar THY filosuna katılmaya devam etmiştir. 2019 yılında, muadili uçaklara kıyasla ortalama yüzde 15 yakıt tasarrufu sağlayan A321 NEO ve B737 MAX filoya

	Yakıt tasarrufu (ton)	Sera gazı tasarrufu (CO ₂ ton eşdeğer)
Uçuş işletme uygulamaları	41.566	130.932
Uçuş planlama uygulamaları	12.958	40.818
Yer işletme uygulamaları	180	568
Uçak teknik bakım	788	2.482
Toplam	55.492	174.800

Tablo 7: 2019 yılında THY'de faaliyetlerin optimizasyonu ile sağlanan tasarruf miktarları^[24].

eklenmiştir. 2019 yılında filo modernizasyonu kapsamında yaşça büyük, yakıt verimliliği düşük olan dört adet A340 yolcu uçağı da filodan çıkarılmıştır.

Altyapı geliştirme çalışmaları kapsamında hem yurtiçinde hem de yurtdışı hava seyrüsefer hizmeti sağlayıcılarıyla yakın işbirliği içinde çalışarak hava trafiği yönetim sistemini iyileştirmek için çalışılmaktadır. Sürekli olarak en uygun uçuş rotaları üzerine araştırma yapmak için THY'de özel bir ekibin yanı sıra SESAR projesinde çalışmak üzere pek çok birimin dahil olduğu bir komite kurulmuştur.

Verimliliği artırmaya yönelik diğer altyapı projeleri arasında; yeni park alanlarının yapılması ve hava sahasının iyileştirilmiş yaklaşma prosedürüyle daha iyi kullanılması gibi havalimanı iyileştirme çalışmaları yer almaktadır^[24].

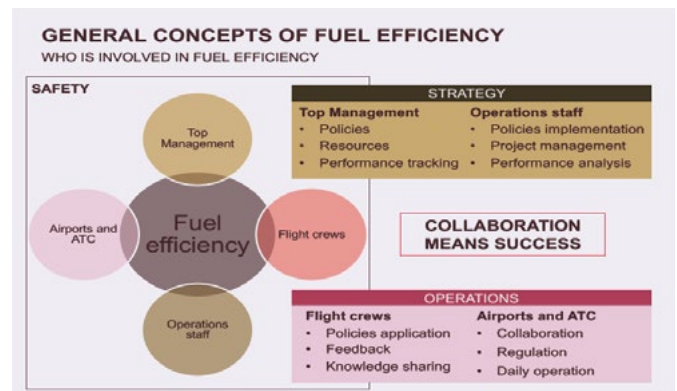
Ülkemizdeki diğer bir hava yolu şirketi Pegasus Hava Yolları, kullandığı Neo uçakları ile diğer uçaklara nazaran yüzde 15 ila 17 arasında daha fazla yakıt tasarrufu sağlamaktadır^[46]. Uçağın yakıt tasarrufu yapacağı bir diğer konu da ağırlık konusudur. Burada Pegasus uçak ağırlığını azaltma uygulamaları yapmaktadır.

Pegasus ayrıca 2012 yılında başladığı ve Karbon Beyan Projesi'ni de (CDP) kapsayan sera gazı envanterini izleme ve raporlama çalışmaları kapsamında kullandığı yöntemi 2019 yılı itibarıyla CORSIA ile uyumlu olabilmek amacıyla güncellemiştir.

9. IATA YAKIT VERİMLİLİĞİ PROGRAMI

Bir havayolu yakıt verimliliği programı çok karmaşıktır. Her zaman aynı teknik bilgiye sahip olmayan farklı aktörlerimiz olduğunu hesaba katmalıyız ve verimlilik hakkında konuştuğumuzda, güvenliği düşünmek zorundayız çünkü bir havayolu şirketindeki ilk şartımız, sektördeki herkes gibi "Önce Güvenlik"dir. Herhangi bir yakıt verimliliği programı havayolu şirketindeki havacılık güvenlik departmanının gözetimi altında olmalıdır.

Yakıt verimliliği programının içinde iki eksen vardır. Biri, üst yönetim ve operasyon personelinin dikkate alan dikey eksenidir ve bunu stratejik hat olarak düşünebiliriz. Politikaları, hedef kaynakları tanımlamak, projelerin



Şekil 18: Havayollarında yakıt verimliliği paydaşları^[47].

performansını izlemek ve projeleri uygulamak için çalışırlar; projenin stratejik ve taktik kısmı. Sonra operasyonu kapsayan yatay eksen var; uçuş ekipleri, havalimanları ve ATC, operasyondaki gerçek verimliliğimizi etkileyen paydaşlar. Uçuş ekipleri politikalar uygular, geribildirimde bulunur ve bilgilerini paylaşır, verimliliğimizi geliştirmemize ve günlük operasyonu düzenlememize yardımcı olan yeni düzenlemelere yol gösterirler.

Başarılı bir yakıt verimliliği programına sahip olmak için, etkili iletişim ve işbirliğine ihtiyaç vardır (Şekil 18)^[47].

Yeni yakıt tasarrufu girişimlerini uygulamak için en zorlu görev, paydaşların fikri satın almalarını sağlamaktır. Yeni bir girişim başlatıldığında, paydaşların girişimin sonucuyla ilgili şüpheleri olabilir ve yeni girişimi reddetme eğiliminde olması yaygındır.

Havayolu yeni bir girişimi uygulama niyetinde olduğunda, tam kapasiteyle başlamadan önce her zaman projeye dahil olan paydaşlar için farkındalık yaratarak ve paydaşların fikirlere destek olmalarını sağlayarak başlamalıdır. Ancak tüm paydaşlar yeni girişime katıldıktan sonra, girişim sorunsuz bir şekilde uygulanabilir. Havayolu şirketi uygulamanın ilk aşamasında, havayolunun operasyonu üzerindeki etkisini düşük tutmak için uygulamayı küçük ölçekte başlatmalıdır. Örneğin, uçak bileşeni güvenilirliği üzerindeki yan etkilere ilişkin endişeler nedeniyle yeni girişimden rahatsız olan paydaşlar varsa, uygulama her zaman daha küçük bir ölçekte başlayabilir, örneğin veri toplamak için sadece seçilen uçaklar dahil edilir. Paydaşlar girişimin sonuçlarına ikna olduktan sonra, yeni yakıt tasarrufu girişimi tüm organizasyonda uygulanır^[34].

Yakıt verimliliği programları sırasında karşılaşılan ve havayollarının öğrendikleri temel zorluklar şunları içermektedir: Ekip kültürü (her havayolu için farklıdır), organizasyonel değişim (şeffaf olmak önemlidir), verilerin toplanması (çok fazla veri ve bunların doğruluğunu sağlama ihtiyacı vardır) ve programa özel bir ekip (zorlukları, hedefleri, mevcut kaynakları ve sistemden en iyi şekilde nasıl yararlanılacağını anlayan bir ekip) gerekmektedir.

Başarılı bir yakıt verimliliği programının ancak ilgili tüm personelin (bakım, uçuş ekipleri, uçuş operasyon mühendisliği, BT departmanı ve yönetim) birlikte çalıştığı ve yakıt tasarrufu üzerinde önemli etkileri olan küçük görevlerin ve işlemlerin bile farkında oldukları durumlarda etkin olduğu görülmüştür. Aslında, yakıt tasarrufu, tek başına düşünüldüğünde önemsiz görünen, ancak yıllar içinde entegre edildiğinde etkili olan küçük katkıların toplamıdır^[48].

Başarılı bir yakıt yönetimi programı oluşturmak için büyük bir havayolu olmak gerekli değildir.

Yakıt maliyetleri havayolu şirketlerinin toplam maliyetlerinde önemli bir orana sahip olduğundan sürekli izlenmesi mutlak bir gereklilik haline gelmiştir. Bununla birlikte, bir uçağın performansı zamanla değişmektedir. Uçaklar üretildikten sonra farklı uçuşlar yapmakta ve motorları farklı şekilde yaşlanmaktadır. Aynı tip iki uçağın performansında yüzde 10'a kadar bir fark olabilmektedir. Bu nedenle, bir uçağın geçmiş yakıt tüketimi doğru bir şekilde takip edilmediği takdirde, optimum hız ve irtifa

kadar, yeni bir uçuş için yakıt miktarının doğru planlanması da zor bir iştir ve havayolları uçaklarının azami verimine ulaşamazlar.

Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) başarılı yakıt tasarrufu programına sahip havayollarının yakıt maliyetlerini yüzde 3-5 civarında azaltabildiğini belirtmektedir. Bir havayolu için verimli yakıt yönetiminde olması tasarruflar yüzde 1 ila 5 arasındadır. Bu değerler, yakıt tasarrufu programında kullanılacak uçak performans modellemesinde yüksek doğruluk gerektirmektedir.

IATA, CO₂ emisyonlarını azaltmak ve yakıt verimliliğini artırmak için operasyonel çözümleri ve tasarrufları belirleyip uygulamak için havayolu endüstrisini yakından desteklemektedir.

IATA Yakıt Verimliliği Programı, artan yakıt fiyatına yanıt olarak 2004 yılında IATA tarafından başlatıldı. Program, ilk lansmanından bu yana, endüstrinin yıllık 3,8 milyar ABD dolarına eşdeğer 15 milyon tondan fazla yıllık CO₂ emisyon azaltımı belirlemesine yardımcı oldu.

IATA Yakıt Verimliliği Programı, 2020 yılına kadar karbon nötr büyüme hedefine ulaşmak için endüstriyi destekleyen IATA için bir mihenk taşıdır.

Yeni "IATA Yakıt Verimliliği Programı Geliştirme" yaklaşımı, yakıt yönetimine bütünsel bir yaklaşım sağlamak için dört operasyonel aşama üzerine inşa edilmiştir. Dört operasyon aşaması, Yalın Altı Sigma yönetim konseptine dayanan Tanımla-Ölç-Analiz Et-İyileştir-Kontrol (DMAIC) sürecini takip eder.

● Birinci Aşama - Temeli Oluşturun

İlk adım olarak, IATA'nın konu uzmanları, uçuş sevkiyatı, uçuş operasyonları, bakım ve mühendislik, ticari ve yer operasyonları dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere tüm operasyonel alanları gözden geçirir ve havayolunun mevcut prosedürleri ile sektörün en iyi uygulamaları arasındaki boşlukları belirlemeye çalışır. IATA uzmanları, bulguları üzerine ön tasarruf hedefleri belirler ve üst seviye bir İş Senaryosu oluşturur.

● İkinci Aşama - Yakıt Programı Oluşturun

Potansiyel tasarruf fırsatları belirlendiğinde, IATA, kurumsal bir yakıt sürecini tanımlamak, organizasyon içinde bir yakıt ekibi kurmak ve program metodolojisini seçmeye yardımcı olmak için havayolunun üst yönetimini görevlendirir.

● Üçüncü Aşama - Planın Uygulanması

Bu aşama, değişikliğin yönetilmesine yardımcı olmak, bir yakıt temeli (baseline) oluşturmak ve bir fayda-efor analizine dayalı olarak girişimleri önceliklendirmek için tasarlanmıştır. Bu aşamanın çıktılarında biri, havayolunu sonraki faaliyetlerde yönlendirecek uygulama planıdır.

● Dördüncü Aşama - Uygulamayı Yönetin

Uygulamayı yönetmek, ilgili "Key Performance Indicator"ları (KPI) ve "Operation Performance Measures"ları (OPM) tanımlamak, kendi kendine sürdürülebilir bir sürecin parçası olarak veri gereksinimlerini ve



Ref. Angela Gittens, Impacts of COVID-19 on aviation and the airport business, ACI World, 22 May 2020
<https://www.internationalairportreview.com/article/117249/covid-19-airport-business-aci-world-recovery/>

kaynaklarını tanımlamak anlamına gelir. Bu aşamada hızlı kazanımlara ait sonuçlar da izlenir, şirket politikaları ve prosedürleri buna göre ayarlanır^[49].

IATA, havayollarının kısa vadede yakıt verimliliğini artırabileceği dokuz temel alanı aşağıdaki şekilde listelemiştir: (IATA, Environmental Review, 2004):

1. En verimli rota üzerinden taksit,
2. Sektör için yakıt açısından en verimli uçağı uçurmak,
3. En verimli rotayı uçurmak,
4. Yakıt açısından en verimli hızda çalışma,
5. Yakıt açısından en verimli irtifada çalışma,
6. Uçağın yük faktörünü maksimize etmek,
7. Uçuşu güvenli bir şekilde tamamlamak için minimum yakıt,
8. Gelir getirmeyen uçuşları en aza indirmek,
9. Uçak gövdeleri ve motorlarını temiz ve verimli tutmak.

Avrupa Havayolları Birliği, IATA'nın bu listesindeki ilk üç önlemin verimliliği yüzde 18 artırabileceğini tahmin ediyor, ancak bunların (ve dördüncü ve beşinci öğelerin) başarısı büyük ölçüde havalimanı ve ATC operatörlerinin elindedir^[50].

IATA Yakıt Verimliliği Materyalleri^[51]

IATA Yakıt Kitabı (Fuel Book), 100'den fazla havayolu yakıt verimliliği değerlendirmesinin sonuçlarından ve deneyimlerinden geliştirilen ana operasyonel kılavuz materyaldir. Kitap ayrıca bir havayolunun yakıttan tasarruf etmek ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için uygulayabileceği hızlı kazançları da vurguluyor.

IATA Yakıt Programı Uygulama Kılavuz Materyali ise IATA Yakıt Kitabından sonraki önemli ikinci adımdır ve havayolları için etkili kurum içi yakıt verimliliği programlarını uygulamak için bir kılavuzdur. IATA Yakıt Programı

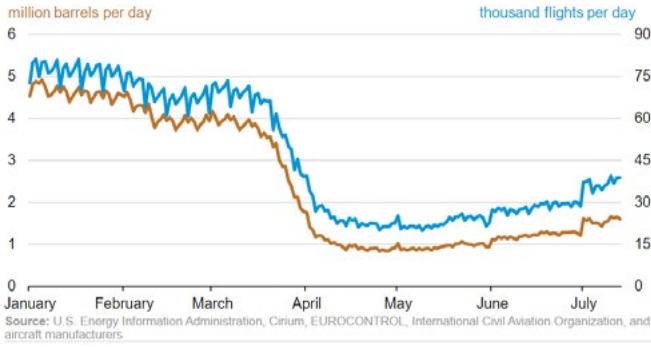
Uygulama Kılavuz Materyali, endüstride etkin tasarruflara ilişkin IATA desteğinin temelini oluşturur.

10. COVID-19'UN SİVİL HAVACILIKTA YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ

COVID-19 salgınının küresel hava taşımacılığı sektörü üzerindeki etkisi belirgin oldu. Ülkelerin tamamı sınırlarını uluslararası uçuşlara kapatırken, ticari havacılık özellikle azalan talepten çok etkilendi. Durgunluğun zirvesinde, hava trafiği 2019'un aynı dönemine kıyasla yüzde 94 azaldı^[27].

Yeni koronavirüs hastalığını (COVID-19) kontrol altına alma çabaları, küresel ticari yolcu uçuş hacimlerini önemli ölçüde değiştirdi. Bu uçuşlar 2020'nin Ocak ve Şubat aylarında günlük ortalama 70.000 uçuşun biraz üzerinde gerçekleşmiş, Nisan ayında günlük ortalama 25.000 uçuşun altına düşmüş ve ardından Mayıs ayında tekrar artmaya başlamıştır. Ticari jet yakıtı tüketimi, Ocak ve Şubat'taki günlük ortalama 4,3 milyon varilden Nisan'da 1,0 milyon varil'e düşerek benzer bir model gösterdi.

EIA, jet yakıtı tüketimindeki küresel değişiklikleri tahmin etmek için, Ocak 2019'dan bu yana uçulan uçak türü ve rotası da dahil olmak üzere, planlanan her ticari yolcu uçuşunu detaylandıran havacılık şirketi Cirium'un verilerini kullanmaya başladı. EIA, uçuşun başlangıç ve varış noktası kullanarak, her uçuş tarafından tüketilen jet yakıtı hacmini tahmin etti ve ticari yolcu uçuşları tarafından küresel olarak tüketilen toplam jet yakıtı hacmini tahmin etmek için bu uçuşların verilerinden elde edilen sonuçları topladı.



Şekil 19: Küresel ticari yolcu uçuşları ve jet yakıtı tüketimi (Ocak-Temmuz 2020).

EIA, ticari yolcu uçuşlarında jet yakıtı tüketiminin 2020'nin Temmuz ayının ilk iki haftasında ortalama 1,6 milyon varil olduğunu tahmin ediyor, bir yıl önceki seviyeden yüzde 69 daha az (Şekil 19). Küresel jet yakıtı talebindeki en büyük düşüş, COVID-19'un yayılmasını azaltmaya yönelik ilk yoğunlaştırılmış çabalarla aynı zamana denk gelen Mart ve Nisan aylarında gerçekleşti. Küresel olarak, ticari yolcu uçuşlarında jet yakıtı tüketimi Şubat ve Mart arasında 0,7 milyon varil/gün ve Mart ile Nisan arasında 2,4 milyon varil/gün azalırken, talep Mayıs'ta yalnızca 0,1 milyon varil/gün ve Haziran ayında 0,3 milyon varil/gün arttı. Benzer eğilimler bölge ve ülke düzeylerinde de yaşanıyor.

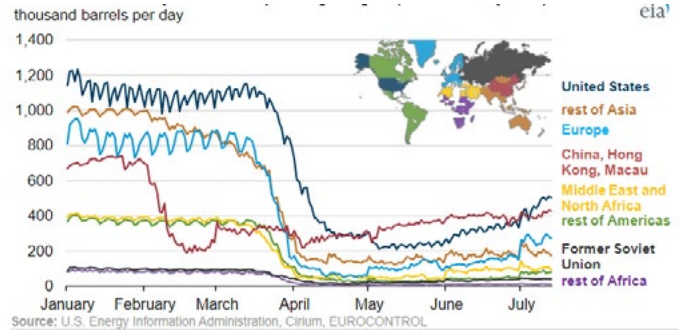
Bir pazarın ilk düşüş ve dibe vurduğu noktaların zamanlaması farklılık gösterse de (büyük ölçüde COVID-19'un yayılmasının zamanlamasını yansıtır), pazardaki jet yakıtı talebi Nisan ve Mayıs aylarında görülen düşük seviyelerinden itibaren artmıştır. Ancak bu toparlanmanın boyutu ülkeler bazında eşit değildir. Çin'deki ticari uçuşlarda (Makao ve Hong Kong dahil) ortalama Haziran 2020 jet yakıtı tüketimi geçen yılın aynı dönemine göre yüzde 43 azalmış olsa da, dünyanın diğer bölgelerinde de tüketim önemli ölçüde azaldı:

- Eski Sovyetler Birliği ülkelerinde yüzde 70,
- Amerika Birleşik Devletleri'nde yüzde 75,
- Ortadoğu ve Kuzey Afrika'da yüzde 77,
- Asya-Pasifik bölgesinin geri kalanında yüzde 80,
- Afrika'nın geri kalanında yüzde 85,
- Avrupa'da yüzde 87,
- Amerika'nın geri kalanında yüzde 88.

Bir ülkenin sınırları içinde gerçekleşen hava yolculuğunun payı, jet yakıtı talebindeki düşüşün temel faktörlerinden biridir.

Yurtiçi seyahat üzerindeki daha az sert kısıtlamalar ve iş veya eğlence amaçlı olmayan yurtiçi hava yolculuğunun daha büyük payı nedeniyle, esas olarak iç hat hava yolculuğuna hizmet veren iç havalimanları genellikle kıyı bölgelerinden daha hızlı iyileşmiştir.

Bu iyileşmenin kanıtı, iç hat uçuşlarında jet yakıtı tüketiminin göreceli olarak yeniden canlanmasında yatmaktadır. Haziran 2019'da ticari yolcu uçuşlarında tüketilen tüm jet yakıtının yüzde 30'unu oluşturmasına



Şekil 20: Ticari yolcu uçuşlarında tüketilen jet yakıtı (Ocak 2020 - Temmuz 2020)^[52].

rağmen, Haziran 2020 itibarıyla iç hat uçuş payı yüzde 56'ya yükseldi. Bu eğilim, özellikle iç hat uçuşlarında tüketilen jet yakıtının payının aynı dönemde yüzde 53'ten yüzde 83'e yükseldiği Çin'de görülebilmektedir.

COVID-19 nedeniyle hava yolculuğu ve uçak emisyonlarında önemli düşüş göz önüne alındığında, 2020 verileri kullanılarak yapılacak temel emisyon rakamlarında açıkça önemli bir azalma olacaktır.

COVID-19 döneminde hava yolculuğu kısıtlama politikaları nedeniyle emisyonlardaki ve çevresel etkilerdeki azalmaya rağmen pandemi, havacılık ile ilgili birçok iklim ve çevre anlaşmasını ve sözleşmesini riske attı. Havacılığı da içeren Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Planında karbon fiyatı ciddi şekilde düştü. 25 Mart 2020 itibarıyla, fiyat yaklaşık yüzde 40 düşerek, 15 €/ton CO₂'nin hemen üzerine iki yılın en düşük seviyesine geriledi ve Haziran'a kadar 22 €/ton CO₂'ye yükseldi^[53].

COVID-19'un havacılığın iklim eylem planı üzerindeki etkisi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 2020'de trafikteki ciddi kesinti, 2050'ye kadar havacılığın büyümesi için taban çizgisini sıfırladı. COVID-19 öncesi tahminlere kıyasla 2050'de tahmini trafikte yüzde 16'lık bir azalma beklenmektedir.
- Havayolları için havacılıktaki durgunluk ve finansal kriz, filolardaki eski uçakların emekliliklerini hızlandırdı, bu nedenle filo verimliliğinde bir artış görmemiz muhtemeldir. Bununla birlikte, bu durum, havayollarının COVID-19 sonrası işlerini yeniden inşa ederken yeni model uçak satın alma taleplerindeki azalmayla dengelenebilir.
- Teknolojiye ve yeniliğe yatırım, önümüzdeki yıllarda havayolları ve uçak üreticileri için zorlayıcı olabilir.

Sonucun ne olacağı kesin değil, ancak 2030-2050+ yıllarında yakıt verimliliği iyileştirmelerini muhtemelen etkilemeyecektir. Ancak endüstri, iklim eylem planına bağlılığını sürdürüyor ve fırsatları hızlandırmak için hükümetler ve diğer paydaşlarla birlikte çalışmanın yollarını arıyor^[27].

Endüstrinin COVID-19 sonrası çıkış stratejisinin bir parçası olarak karbon azaltımına öncelik vermek için güçlü bir desteğe sahip olan planlar hâlihazırda uygulanmaktadır. Örneğin İngiltere için uzun vadeli bir strateji

koalisyonu olan “Sürdürülebilir Havacılık”, Haziran ayı başlarında İngiltere Ulaştırma Bakanı’na erken aşamadaki projeleri desteklemek için 500 milyon £ talep eden bir mektup gönderdi. Bu talebe SAF projeleri, uçak ve motor teknolojisinin geliştirilmesi, İngiltere hava sahasının modernize edilmesi ve karbon denkleştirme önlemlerinin ve karbon giderme teknolojilerinin geliştirilmesine devam edilmesi dahildir^[54].

25 milyon havacılık sektörü işi risk altında iken, Avrupa hükümetleri 12,8 milyar avro tutarında mali yardım üzerinde anlaştı ve 17,1 milyar avroluk diğer bir yardım hakkında daha görüşülüyor. Fransa’nın Air France-KLM kurtarma paketinde yurtiçi CO₂ emisyonlarının azaltılmasını hızlandırmak, biyoyakıt kullanmak ve filosunu yenilemek için başlattığı girişimler bağlayıcı hâle getirilseydi, kısa vadeli ekonomik gereklilikleri uzun vadeli iklim ve sürdürülebilirlik ihtiyaçları ile birleştirme fırsatları yaratılabilecekti^[55].

Goldman Sachs, COVID-19 aşısının potansiyel kullanılabilirliği ile jet yakıtı talebinin 2021’de toparlanmasını bekliyor.

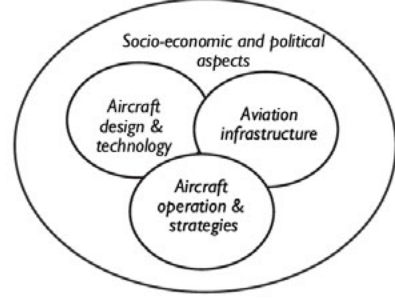
Bankanın analistleri, havayolu yolcularının sayısının 2023 yılına kadar virüs öncesi seviyelere döneceğini öngörmektedir.

Goldman Sachs, özellikle 2021’in ikinci çeyreğinde COVID-19’a karşı etkili çözümlerin insanları tekrar seyahat etmeye teşvik etmesi durumunda, jet yakıtı tüketiminde beklenen iyileşme sayesinde 2021’de petrol talebi görünümünde iyimser olmaya devam ediyor.

Jet yakıtı talebindeki herhangi bir toparlanmanın önündeki en büyük engel seyahat kısıtlamalarının devam etmesi olacaktır. Banka, aşılamanın ardından küresel jet yakıtı talebinin 2021 yazına kadar mevcut seviyelerden günde 3,9 milyon varil artacağını tahmin ediyor^[56].

11. SOSYOEKONOMİK VE POLİTİK KOŞULLAR

Havacılık yakıt verimliliği iyileştirmeleri hem sosyoekonomik hem de çevresel faydalar sunar.



Dünyanın en hızlı büyüyen işi olmasına rağmen, toplum bilinci ve kamuoyu havacılık endüstrisi üzerinde önemli bir baskı oluşturuyor. Bu koşullar, hükümetleri, yakıt tüketimini ve emisyonu azaltmak için hava taşımacılığına politik ve ekonomik kısıtlamalar getirmeye zorladı. Bu adımlar, havacılık endüstrisini daha iyi teknolojiler tedarik etmeye ve verimli operasyonel prosedürler benimsemeye teşvik ederken, bazen bu önlemler hava yolculuğu talebini de baskılamaktadır. Bu tür etkili sosyoekonomik ve politik yönler arasında havacılık yakıtı fiyatları, yakıt vergilendirmesi ve Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Planı (EU-ETS) gibi emisyon vergilendirme girişimleri bulunmaktadır. Ek olarak, uluslararası hava trafiğinin deregülasyonu gibi siyasi durumlar ve kararlar ile birlikte SESAR ve Next-Gen programları daha yakıt verimli uçuş rotaları açarak hava sahası kapasitesini artırmaktadır.



Havacılık endüstrisi küresel terörizmden kaynaklanan güvenlik tehditleri altında bile, sosyo-ekonomik ve politik yönleri başarılı bir şekilde yöneterek fayda sağlamıştır. Hükümet politikalarının uygulanması tüm sektörler için bağlayıcı olduğundan, geleneksel jet yakıtları üzerindeki ağır vergi, karbon vergilendirmesi, alternatif yakıtların sübvansiyonu ve araştırma fonları gibi politikalar, havacılık endüstrisini daha iyi ve verimli sistemlere yatırım yapmaya teşvik etmektedir^[11].

12. TİCARİ HAVACILIĞIN YAKIT VERİMLİLİĞİ PERFORMANSI

Ticari havacılığın yakıt verimliliği performansı 2020 yılı başı itibarıyla aşağıdaki şekilde özetlenmektedir^[57]:

1. Havayolları, 2009-2019 yılları arasında yakıt verimliliği performanslarını geliştirmeye devam ederek, yüzde 1,5 olan sektör hedefinin üzerinde yıllık ortalama yüzde 2'lik bir iyileşme sağladı. 2009 ila 2019 yılları arasında kümülatif verimlilik artışı yüzde 21,4 olmuştur.
2. 2000 yılından bu yana, endüstride yakıt verimliliği yüzde 37,8 iyileşirken, gerçekleştirilen bin ton-kilometre başına CO₂ tonu 1,84'ten 0,84'e iyileşmiştir.
3. 1990'dan bu yana, endüstride yakıt verimliliği yüzde 54,3 artmıştır.
4. Yakıt verimliliğinin iyileşmesi; 2009'dan bu yana 15.000 daha verimli yeni teknoloji uçağına 1 trilyon doların üzerinde yatırım yapan havayolları, daha yüksek yük faktörleri ve diğer operasyonel önlemler ile sağlanmıştır.
5. Yüksek ve değişken yakıt maliyetleri, eski uçakların daha yüksek oranlarda kullanımdan kaldırılmasını ekonomik hâle getirerek yakıt verimliliği performansına daha fazla olumlu katkıda bulunmuştur.

6. Büyük üreticilere ait siparişteki yeni teknoloji uçakların önümüzdeki birkaç yıl içinde küresel filoya girecek olması filo verimliliğinde iyileştirmelerin devam edeceğini gösteriyor.
7. Ağırlığa dayalı yük faktörleri, havayolları uçaklardaki alanı daha iyi kullanmaya devam ettikçe, 2008'de yüzde 64,9'dan 2019'da yüzde 69,4'e yaklaşık altı puanlık bir artış gösterdi. Yolcu yük faktörleri günümüzde küresel olarak ortalama yüzde 82,4 değerindedir.

13. UÇUŞ YAKIT YANMASI VE CO₂ EMİSYONLARINDAKİ TRENDLER

Daha yeni rakamlar, kısa vadeli hedefte sapma olmadığını, çalışmaların yolunda gittiğini gösteriyor ve mevcut analiz, hareketli ortalama yüzde 2'lik bir iyileşme ve 2009'dan bu yana ise yüzde 21,4'lük bir verimlilik artışı gösteriyor. Bu verimlilik seviyelerine, uçak ve motor tasarımındaki bazı önemli değişikliklerle (turbofan motorların piyasaya sürülmesi gibi) ve motor tasarımı ve çalışmasında yıldan yıla artan iyileştirmelerle ulaşıldı. Değişken yakıt maliyetleri, eski uçakların daha yüksek oranlarda kullanımdan kaldırılmasını ekonomik hâle getirerek yakıt verimliliği performansına daha da katkıda bulunmuştur. Bu eğilimin, örneğin COVID-19 tarafından tetiklenen Airbus A340-600'ler ve Boeing 747-400'lerin dünya çapında erken emekli olmasıyla devam ettiği görülmektedir^[30].

Yeni uçaklar da dahil olmak üzere ticari havayollarının benimsediği operasyonel ve teknik verimlilik önlemleri (uçak satın alma dahil) sayesinde, 2000 yılından bu yana, ticari yolcu uçuş faaliyeti yaklaşık 2,5 kat (yılıda yüzde 5) artarken, CO₂ emisyonları yüzde 50 (yılıda yüzde 2) artmıştır. Ticari yolcu havacılığının enerji yoğunluğu yılda ortalama yüzde 2,8 azaldı, ancak gelişmeler zaman içinde yavaşladı^[58].

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gerçekleşen Ücretli Ton-Kilometre (RTK, milyar)	636	610	681	715	740	771	816	866	920	998	1060	1085	-
Ticari Havacılık CO₂ (milyon ton)	667	632	663	682	691	710	733	774	812	860	905	915	-
Yakıt Verimliliği (Her bin ton RTK için CO₂ ton)	1.05	1.04	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.88	0.86	0.85	0.84	-
Yakıt Verimliliği İyileştirme Oranı (önceki döneme göre değişim yüzdesi)		%1.1	%6.1	%2.0	%2.1	%1.5	%2.5	%0.5	%1.1	%2.4	%1.0	%1.2	-
Yakıt Verimliliğini İyileştirme Hareketli Ortalaması (2009-2019 yılları için)												%2.0	

2008-2017: ICAO, IEA ve IATA'dan gerçek veriler (yıl sonundan sonra 22 ay mevcuttur)

2018-2019: ICAO ve IATA verilerinden tahminler



Source: IATA Economics/Air Transport Action Group

Şekil 21: Yolcu km başına CO2'deki düşüş^[30].

Her üç yıllık çalışma döngüsünün sonunda, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) Havacılık Çevre Komitesi (CAEP) aşağıdaki konularda havacılıkta gelecekteki çevresel trendleri değerlendirir:

1. Uçak motoru sera gazı (GHG) emisyonları (küresel iklimi etkileyen),
2. Uçak gürültüsü
3. Yerel Hava Kalitesini (LAQ)'yu etkileyen uçak motoru emisyonları

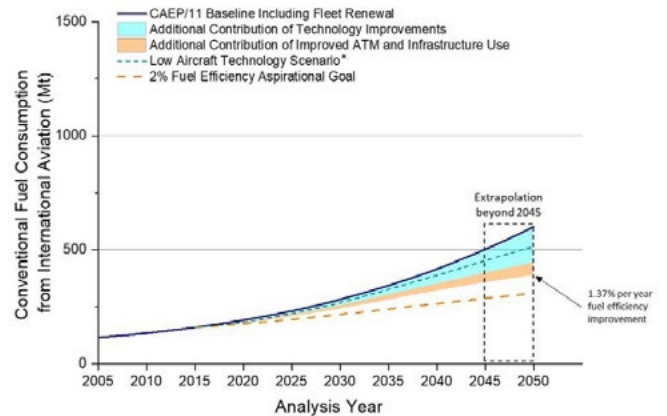
Bu bölümde tartışılan çevresel trendler, 2015 yılını temel (base year) olarak kullanan en son CAEP/11 hava yolculuğu talep tahmin verilerine dayanmaktadır. Tahmin yılları 2025, 2035 ve 2045'tir. Sonuçlar daha sonra 2050'ye ekstrapole edilmiştir. Yolcu ve kargo uçağı tahminleri ICAO'nun Uzun Vadeli Trafik Tahmininden elde edilirken, iş jeti tahmini CAEP tarafından geliştirilmiştir. 2015'ten önceki yıllar için sunulan veriler, önceki CAEP trend değerlendirmelerinden çoğaltılmıştır. Yakıt yanması ve emisyon sonuçları yalnızca uluslararası havacılık içindir.

Şekil 22, 2005'ten 2045'e kadar uluslararası havacılık için küresel tam uçuş (yani kalkış kapısından varış kapısına) yakıt yakma ve daha sonra 2050'ye ekstrapole edilmiş yakıt yakma sonuçlarını göstermektedir. Yakıt yakma analizi, yakıt tüketimini azaltmak için uçak teknolojisi, geliştirilmiş hava trafik yönetimi ve altyapı kullanımının (yani operasyonel iyileştirmeler) katkısını dikkate alır. Şekil ayrıca, ICAO'nun yüzde 2 yıllık yakıt verimliliği hedefine ulaşılması hâlinde beklenebilecek yakıt yanmasını da göstermektedir.

En iyimser senaryo altında bile, öngörülen yıllık yüzde 1,37'lik uzun vadeli yakıt verimliliği, ICAO'nun yıllık yüzde 2'lik istek uyandıran hedefinin altında kalmaktadır. Uluslararası havacılığın uzun vadeli tahmini yakıt tüketimi, önceki CAEP trend tahminlerine kıyasla yaklaşık yüzde

Scenario	Aircraft Technology: per annum fuel burn improvements for fleet entering after base year
Fuel 1 - Baseline	NA: use only base-year in-production fleet
Fuel 2 - Low Aircraft Technology and CAEP/9 IE Operational Improvements	Low: 0.96% to 2015 then 0.57% to 2050
Fuel 3 - Moderate Aircraft Technology and CAEP/9 IE Operational Improvements	Moderate: 0.96% to 2050
Fuel 4 - Advanced Aircraft Technology and CAEP/9 IE Operational Improvements	Advanced: 1.16% to 2050
Fuel 5 - Optimistic Aircraft Technology and CAEP/9 IE Operational Improvements	Optimistic: 1.5% to 2050

Tablo 8: Yakıt Yanması - Teknoloji ve Operasyonel İyileştirme Senaryoları^[59].



Şekil 22: Uluslararası Havacılık Yakıt Yanması (Fuel Burn), 2005 – 2050^[59].

(* Teknoloji katkı bandındaki çizgili hat "Low Aircraft Technology Scenario"yu göstermektedir.

25 daha düşüktür. Bu düşüş, filoya giren yakıt açısından daha verimli uçakların bir kombinasyonuna ve uzun vadeli trafik talebinde öngörülen azalmaya bağlanabilir. Hesaplanan yıllık yüzde 1,37 uzun vadeli yakıt verimliliği, hem teknoloji hem de operasyonlarla ilişkili iyileştirmeleri içermektedir. Teknoloji ve operasyonlardan gelen katkılar sırasıyla yüzde 0,98 ve yüzde 0,39'dur. Yüzde 0,98 teknoloji katkı değeri tek koridorlu uçak için en son CAEP/11 Bağımsız Uzmanlar (IE) İncelemesinde belirtilen yüzde 1.3'ten biraz daha düşüktür.

Şekil 23, bu katkıları tahmini taleple ilişkili belirsizlikler bağlamında göstermektedir (Öngörülen talep, teknolojik ve operasyonel iyileştirmelerin potansiyel katkılarından önemli ölçüde daha büyüktür). Bu belirsizliklere rağmen, CAEP/11 tahmini trafik eğilimleri, yayınlanan diğer havacılık tahminleriyle büyük ölçüde tutarlıdır. Arz Edilen Ton-Kilometre (ATK) için öngörülen ticari piyasa trendi, 20 yıllık (2015-2035) Bileşik Ortalama Yıllık Büyüme Oranını (Compound Average Annual Growth Rate -CAGR) yüzde 4,3 olarak göstermektedir. Kıyaslama amacıyla, tüm trafik için tahmin ölçümü olarak Ücretli Yolcu-Kilometre (RPK) kullanıldığında, 2015 için Boeing, Airbus ve Embraer tahminleri sırasıyla yüzde 4,8, yüzde 4,5 ve yüzde 4,7'lik 20 yıllık (2015-2035) CAGR olarak elde edilir. CAEP/11 RPK 20 yıllık tahmini (2015-2035) yüzde 4,4'lük CAGR'a sahiptir.

Şekil 23'te yakıt yanması yalnızca merkezi talep tahmini için modellenmiştir. Gösterilen düşük ve yüksek talep duyarlılıklarının etkileri, düşük/yüksek talep için tahmini RPK'nın merkezi talebe göre oranına dayanmaktadır.

Şekil 24, uluslararası havacılık için 2005'ten 2045'e kadar tam uçuş CO₂ emisyonlarını göstermektedir ve daha sonra 2050'ye ekstrapole edilmiştir. Yakılan 1 kg jet yakıtının 3,16 kg CO₂ ürettiğini varsayarak yalnızca jet yakıtının yanmasıyla ilişkili CO₂ emisyonlarını dikkate almaktadır. Önceki yakıt yakma analizlerinde olduğu gibi, bu analizde de uçak teknolojisi, geliştirilmiş hava trafik yönetimi ve altyapı kullanımı (yani, operasyonel iyileştirmeler) katkılarını dikkate alınır. Buna ek olarak, 2020'deki olası CO₂ emisyonlarının aralığı, net CO₂

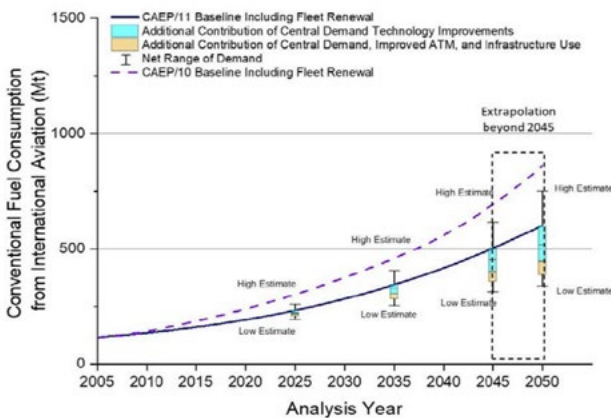
emisyonlarını bu seviyede tutmaya yönelik küresel hedefe göre gösterilmektedir.

Ayrı bir şekil ile gösterilmemesine rağmen, yakıt yanması hesaplamaları üzerindeki talep belirsizliği etkisi, CO₂ sonuçları üzerinde de benzer bir etkiye sahiptir. Tablo 8'deki yakıt tüketimi senaryolarına (2020'de beklenen en yüksek yakıt tüketimi (Senaryo 1) ve 2045'te beklenen en düşük yakıt tüketimine (Senaryo 5)) göre 2045 için 517 milyon metrik tonluk minimum CO₂ emisyon farkı öngörülmüştür. Senaryo 5'ten 2050'ye yapılacak çıkarsama, minimum 612 Mt fark ile sonuçlanır^[59].

2015 yılında, uluslararası havacılık 506 Mt CO₂ emisyonu ile sonuçlanan yaklaşık 160 Mt yakıt tüketmiştir. 2045 yılına kadar, yakıt tüketiminin 2015 değerinin 2,2 veya 3,1 katı artacağı tahmin edilirken, Ücretli Ton-Kilometre'nin (RTK) en son tahminlere göre 3,3 katına çıkması bekleniyor. Yapılacak çıkarsama tahmini ile 2050 yılına kadar yakıt tüketiminin 2015 değerinin 2,4 ila 3,8 katına çıkması öngörülmüştür, RTK'nın 3,9 kat artması bekleniyor.

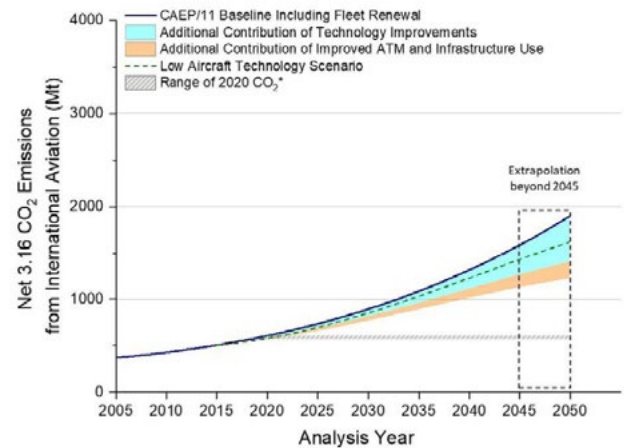
Tablo 8'de tanımlanan en iyimser Senaryo 5 kapsamında, RTK başına yakıt hacmi olarak ifade edilen uluslararası havacılık yakıtı verimliliğinin, 2045 yılına kadar yıllık ortalama yüzde 1,29 oranında ve 2050'ye ekstrapole edilirse yıllık yüzde 1,37 oranında artması beklenmektedir. Bu, ICAO'nun yıllık yüzde 2'lik yakıt verimliliği iyileştirme hedefinin 2050'ye kadar karşılanmasının muhtemel olmadığını gösterir. Yakın vadede (2015'ten 2025'e), teknoloji ve geliştirilmiş ATM'den ve altyapı kullanımından elde edilen verimlilik iyileştirmelerinin ılımlı olması, orta vadede (2025'ten 2035'e) hızlanması bekleniyor. 2025-2035 dönemi boyunca, Senaryo 5'e göre yakıt verimliliğinin yılda ortalama yüzde 1,08 oranında artması beklenmektedir. Senaryo 5 ile ilişkili yıllık yüzde 1,5 yakıt teknolojisi iyileştirmesi ve öngörülen RTK değişkenliği göz önüne alındığında, bu beklendiği gibidir.

2025 yılına kadar, uluslararası havacılığın 207 ila 226 Mt yakıt gerektirmesi ve bunun da 655 ila 713 Mt CO₂ emisyonuna yol açması beklenmektedir. Analiz, sürdürülebilir alternatif yakıtların uzun vadeli bulunabilirliğini de



Note: Fuel burn was only modelled for the central demand forecast. The effects of the high and low demand sensitivities shown are based on the ratio of forecasted revenue passenger kilometres for high/low demand relative to central demand.

Şekil 23: Talep tahminiyle ilişkili belirsizlik aralığı, 2005 to 2050^[59].



* Gerçek karbon-nötr hattı bu aralıktadır.

Şekil 24: Uluslararası havacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonları, 2005 to 2050^[59].

dikkate alarak, 2050 yılına kadar SAF ile talebin yüzde 100'ünü karşılamanın fiziksel olarak mümkün olacağını ve bunun da emisyonlarda yüzde 63'lük bir azalmaya karşılık geleceğini göstermiştir. Bununla birlikte, bu yakıt üretimi seviyesine ancak sürdürülebilir alternatif yakıt üretim altyapısına yapılan aşırı büyük sermaye yatırımları ve önemli politika desteğiyle ulaşılabilir.

Bu senaryo altında bile, yalnızca sürdürülebilir alternatif yakıtların kullanımından karbon nötr büyümenin elde edilmesi 2020 yılına kadar mümkün değildir veya bundan kısa bir süre sonra, üretimin yukarıda belirtilen seviyelere ulaşması öncesinde SAF üretimi için bir ilk hızlanma aşaması gereklidir. MBM'nin, 2020'den sonra da olsa, karbon nötr büyüme için açığı kapatmaya yardımcı olması bekleniyor^[59].

14. SONUÇ

Havayolları ve üreticiler, yeni teknolojilerin uygulanması yoluyla ve aynı zamanda uçağın hizmet ömrü boyunca operasyonel önlemlerle uçaklarının yakıt yakma ve emisyon performansını iyileştirmeye kararlıdır.

Yakıt maliyetleri, yakıt açısından verimli yeni uçak teknolojileri için her zaman güçlü bir itici faktör olmuştur. Uzun vadeli ortalama, yakıt fiyatları sürekli bir yükselme eğilimi sergilerken, son yıllarda petrol fiyatlarının güçlü dalgalanması, bir havayolunun, iyileştirilmiş yakıt verimliliğine sahip yeni uçaklardan elde edilecek tasarrufları makul bir şekilde tahmin etmesini zorlaştırmaktadır. Dalgalı döviz kurları ve jeopolitik belirsizlikler, yeni uçak satın alma taahhüdünü etkileyen risklere de katkıda bulunur^[1].

Havacılık yakıt verimliliğindeki iyileşme, hem gelişmekte olan ekonomiler hem de gelişmiş ekonomiler için son derece zorlu bir konudur. Havayolları hâlihazırda emisyon kesintilerini bilançonun kâr hanesi çıkarlarıyla uyumlu hâle getirmek için çalışmaktadır. Operasyonel verimliliği ve optimum hava trafik yönetimini teşvik ettiler ve uçakları daha verimli aerodinamikler ve daha hafif malzemeler kullanan motorlarla modernize etmek için milyarlarca dolar yatırım yaptılar. Bununla birlikte, bu eylemler sektörü ancak şimdiye kadarki kazanımlara ulaştırıyor ve hiçbir şey yapmama durumuna kıyasla emisyonları yüzde 20 ila 30'dan fazla azaltmıyor^[3].

Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için, havacılık endüstrisi, hâkim belirsizlikler altında tüm uygulanabilir seçeneklere, yani alternatif yakıtların geliştirilmesine, sosyoekonomik ve politik koşullardan yararlanmaya, uçak tasarımının ilerletilmesine, havacılık altyapısındaki iyileştirmelere, uçak operasyonlarının ve stratejilerinin geliştirilmesine odaklanmıştır^[11].

Havacılık endüstrisi, tasarımında ve operasyonlarında daha iyi teknolojileri kullanarak dönüşümü hızlandırmak için çok çalışıyor. Bununla birlikte, birçok engelle karşı karşıya kalmaktadır. En belirgin engeller; farklı bölgesel ilgi ve taahhütler, ilişkili çevresel belirsizlikler ve verimlilik kazanımlarına kıyasla havacılığın büyümesidir.

Ek olarak, oldukça olgunlaşmış uçak teknolojisi, yavaş havayolu filosu değişimi, parçalı hava sahası ve uçuşa elverişlilik, havacılık yakıt verimliliğindeki gerçekleştirilebilir ilerlemeyi yavaşlatan hususlardır. Ayrıca, alt-yapı iyileştirme ve genişletmeyle ilişkili yüksek sermaye maliyeti ve altyapı için alan kullanılabilirliği sorunları havacılık yakıt verimliliğine kısıtlamalar oluşturur. Tüm bu zorluklar, havacılık endüstrisinin ilerleyen büyümesini ve sürdürülebilir geleceğini tehdit etmektedir^[11].

Uçak yakıt verimliliğini artırmak ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için geniş bir teknolojik yenilik yelpazesinin geliştirilmekte olduğu görülebilir. Devrim niteliğindeki uçak konfigürasyonları ve teknolojileri üzerinde çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, operasyonel, çevresel ve ekonomik faydaları hakkında daha güvenilir bir tahmin sağlamak için bu teknolojilerin günlük operasyonlara uygulanması konusunda daha spesifik araştırmalara ihtiyaç vardır.

Radikal uçak teknolojilerinin sorunsuz bir şekilde pazara girmesi için, havayolları, üreticiler, havalimanları, hava seyrüsefer hizmeti sağlayıcıları, hükümetler ve araştırma kurumları gibi tüm havacılık paydaşlarının ön koşulları hazırlamak üzere birlikte çalışması gerekir^[1].

Sürdürülebilir alternatif yakıtlar, karbon nötr büyüme için boşluğu doldurma potansiyeline sahiptir, ancak kısa vade için geçerli değildir ve veriler, uzun vadede kullanılabilirliklerini güvenle tahmin etmek için hâlâ eksiktir. Piyasaya dayalı önlemlerin ise 2020'den sonra da olsa, karbon nötr büyüme için açığı kapatmaya yardımcı olması bekleniyor^[60].

Ticari filo stratejisiyle ilgili olarak, yöneticiler yalnızca yakıt fiyatı tahminlerini değil, aynı zamanda gelecekteki karbon maliyetini de dikkate almalıdır. Karbon emisyonlarını bir yakıt maliyeti primi olarak uygulamak, hızlandırılmış bir filo devrine ve gelecekteki uçak teknolojisinin daha hızlı uyarlanmasına yol açabilir^[3].

2020'nin muazzam zorluklarına ve önümüzdeki bir veya iki yıla rağmen, endüstri yeşil bir iyileşme için hırs ve inovasyonda birleşmiştir. Havacılığın yeniden başlaması, küresel bağlantıyı ve hava taşımacılığının sağladığı ekonomik faydaları, endüstriyi karbondan arındırma rotasına sokacak şekilde yeniden inşa etmek için bir fırsattır.

Önümüzdeki 10 yıl^[27]:

- Yeni yakıt türlerinin hızla çoğalmasına yönelik devlet desteği için,
- Uçak gövdesi mimarisinde radikal değişiklikler kadar elektrikli, hibrit, hidrojen uçakları gibi radikal yeni teknolojilerin geliştirilmesi için,
- Hava taşımacılığının hâlihazırda işbirlikçi doğasına dayanan ve hükümetleri, araştırmacıları ve diğer sektörleri de dahil eden işbirliği için,
- Havacılığın ekonominin geri kalanıyla birlikte iklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak amacıyla Paris Anlaşması küresel işbirliği ruhuna uygun şekilde yaşayabilmesini sağlamak için çok önemli olacaktır.

Zorluğun boyutu nedeniyle, herhangi bir çözüm, çok paydaşlı bir yaklaşım gerektirecektir. Maksimum yakıt verimliliğine ulaşmak ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için, tüm paydaşların -hükümetler, toplum, uçak üreticileri, havayolları, uluslararası düzenleyiciler ve havalimanı operatörleri- entegre taahhüdü ve çabaları zorunludur. İşin püf noktası, uygun bir düzenleyici çerçeve ve destekleyici teşvikler oluşturmaktır, böylece hiçbir oyuncu tek başına oynadığı için cezalandırılmaz.

Gelecekte çevre standartları da giderek daha güçlü hâle gelecektir. Böylece, havayolları, yakıt fiyatı eğilimlerinden bağımsız olarak, daha yüksek yakıt verimliliğine sahip ekipmanların kullanılması, yakıt tasarrufu sağlayacak verimli çalışma yöntemlerinin benimsenmesi ve alternatif yakıtların kullanılması gibi önlemleri teşvik etmek

zorunda kalacaktır^[60]. Bir çevre sertifikasına (ISO 14001 gibi) veya devamına hak kazanmayı da düşünen havayolları için, yeni yakıt tasarrufu girişimleri bulmaya devam etmek çok önemlidir^[61].

Havacılıktaki teknolojik yeniliklerin pazarda yer alması oldukça zaman aldığından, bunları uzun süre beklemek doğru seçim olmayabilir. Bu nedenle, havacılık endüstrisinin yakıt tüketimini azaltmak için mevcut tüm seçenekleri uygulaması gerekir. Bu, gelecekteki büyümeye uyum sağlamak ve sürdürülebilir kalmak amacıyla havacılık sektörü için gereklidir^[11].

Alternatif teknolojilere, operasyonlara ve stratejilere geçişin kazanımları, kısa vadeli perspektiften çok, uzun vadeli faydalar ışığında değerlendirilmelidir^[11].

KAYNAKÇA

1. IATA, "Aircraft Technology Roadmap to 2050", <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
2. European Commission, (2020), "Reducing emissions from aviation", https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
3. Dichter, Alex; Henderson, Kimberly; Riedel, Robin; Riefer, Daniel; (2020), "How airlines can chart a path to zero-carbon flying", McKinsey & Company, (Mayıs 2020), <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-transport-infrastructure/our-insights/how-airlines-can-chart-a-path-to-zero-carbon-flying>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
4. IATA, (2020), "Economic Performance of the Airline Industry, - 2020 End-year Report", (24 Kasım 2020), <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---november-2020---report/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
5. Air Transport Action Group (ATAG), (2010), "Beginner's Guide to Aviation Efficiency", (Kasım 2010), www.atag.org. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
6. Günther, Thomas; Fricke, Hartmut; (2014) "Impact of trajectory restrictions onto fuel and time-related cost efficiency- ICRAT 2014 - 6th International Conference", ICRAT,.
7. Pearce, Brian; (2020), "COVID-19 Cash burn analysis", IATA, (31 Mart 2020), <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/covid-19-cash-burn-analysis/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
8. Air Transport Action Group, (2020), "Waypoint 2050, First Edition", (Eylül 2020), https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050_full.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
9. Transport Geography, (2020), "Trends in Fuel Efficiency, Selected Passenger Jet Planes", <https://transportgeography.org/contents/chapter5/air-transport/aircraftenergyefficiency-2/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
10. "Standards to promote airline efficiency", International Council on Clean Transportation (ICCT), May 2020, URL: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Airline-fuel-efficiency-standard-2020.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
11. Singh, Jagroop; Kumar Sharma, Somesh; Srivastava, Rajnish; (2018), "Managing Fuel Efficiency in the Aviation Sector: Challenges, Accomplishments and Opportunities", *FIIIB Business Review, Volume 7 (4): 8 - Dec 1, 2018*.
12. Kharina, Anastasia; Rutherford, Daniel; (2015), "Fuel efficiency trends for new commercial jet aircraft: 1960 to 2014", *International Council on Clean Transportation (ICCT)*, (Ağustos 2015), https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Aircraft-FE-Trends_20150902.pdf. (Erişim Tarihi: 1; Aralık 2020)
13. IATA, "Jet Fuel Price Monitor", <https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
14. EASA, (2019), "European Aviation Environmental Report", https://www.easa.europa.eu/eaer/system/files/usr_uploaded/219473_EASA_EAER_2019_WEB_HI-RES_190311.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
15. IATA, (2020), "Fuel Fact Sheet", <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---fuel/>, (November 2020). (Erişim Tarihi 1 Aralık 2020)
16. Koppula, Rajasimha; (2018), "The Top 6 Technologies for Improving Aircraft Fuel Efficiency", (Ocak 2018), <https://www.prescouter.com/2018/01/technologies-improving-aircraft-fuel-efficiency/>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
17. Graver, Brandon; Zhang, Kevin; Rutherford, Dan; (2020), "CO2 emissions from commercial aviation: 2013, 2018, and 2019", *ICCT* (October 2020), <https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
18. IATA, (2020), "Economic Performance of the Airline Industry, Mid-year report", (9 Haziran 2020), <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance-june-2020-report/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
19. Graver, Brandon; Zhang, Kevin; Rutherford, Dan; "CO₂ emissions from commercial aviation, 2018, Working Paper 2019-16", *ICCT*, (Eylül 2019), https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercial-aviation-2018_20190918.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
20. IATA, (2019), "Fuel Fact Sheet, December 2019", <https://www.iata.org/contentassets/ebdba50e57194019930d72722413edd4/fact-sheet-fuel.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
21. "IATA, (2020), "Carbon offsetting for international aviation", (Haziran 2020), <https://www.iata.org/contentassets/fb-745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/paper-offsetting-for-aviation.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
22. BBC, (2019), "Climate change: Should you fly, drive or take the train?", (23 Ağustos 2019), <https://www.bbc.com/news/science-environment-49349566>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)

23. "Aviation - More efforts needed", Tracking report - June 2020, URL: <https://www.iea.org/reports/aviation>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
24. THY, (2019), "THY 2019 Sürdürülebilirlik Raporu", <https://investor.turkishairlines.com/documents/surdurulebilirlik/2019-surdurulebilirlik-raporu.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
25. ATAG, "WAYPOINT 2050", Report, <https://www.eraa.org/atag's-waypoint-2050>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
26. "Current Market Outlook 2017-2036", Boeing, URL:<http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/market/current-market-outlook-2017/assets/downloads/2017-cmo-6-19.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
27. ATAG, (2020), "Blueprint for A Green Recovery", (Eylül 2020), <https://www.atag.org/component/attachments/attachments.html?id=921>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
28. SAF Community, (2020), "Waypoint 2050: New analysis details aviation climate pathways", (14 Ekim 2020), <https://safcommunity.org/news/332102>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
29. IATA, (2020), "Technology Roadmap Environment IATA Fact Sheet", (Kasım 2020), <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--technology-roadmap-environment/>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
30. KPMG, (2020), "Aviation 2030 -Disruption beyond COVID-19", <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ie/pdf/2020/10/ie-aviation-2030-disruption-beyond-covid-19.pdf>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
31. Zaporozhets, Oleksandr; Isaienko, Volodymyr; Synlyo, Kateryna; "Trends on current and forecasted aircraft hybrid electric architectures and their impact on environment", *Elsevier Ltd., Energy*, (10 Eylül 2020)
32. ICAO, "ICAO Environment, Operational Measures", <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/operational-measures.aspx>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
33. S. Ateş, Savaş; Kafalı, Haşim; C. Kılıçoğlu, Gökhan ; (2018), "Reducing Operational Fuel Costs of Airlines: A Model for Monitoring and Managing Fuel Consumption Using Unified Modeling Language", *Celal Bayar Üniversitesi Journal of Science Volume 14, Issue 1, pp 105-111*, (8 Mart 2018)
34. Shue Liang, Chai; Lian Seng, Tey; Garib Singh, Sharan Kaur ; (2017), "A Case Study Of Fuel Saving Initiatives Adopted By Airasia", *Journal of Business and Social Development Volume 5 Number 1*, (Mart 2017):
35. AIRCRAFT IT Operations, (2019), "Vendor Flight Log: Safety Line", (Eylül-Ekim 2019) ,
36. ICAO,2016–2030 Global Air Navigation Plan, "https://www.icao.int/publications/Documents/9750_5ed_en.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
37. Berti, Adele; "Airline fuelling strategies: can more be done to save carbon and cut costs?", *Airport Technology*, (2 Nisan 2020), <https://www.airport-technology.com/features/aircraft-fuel-efficiency/>,(Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
38. Honeywell, (2019), "Fuel Efficiency Key to Airline Success", (Kasım 2019), <https://www.ainonline.com/sponsored-content/business-aviation/2019-11-13/fuel-efficiency-key-airline-success>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
39. Yolcu, Sezgin; (2010), "Flight Operations Engineer at SunExpress, shares with us his experience of using SkyBreathe® Fuel Efficiency to optimize fuel savings", *AIRCRAFT IT Operations*, (Eylül-Ekim 2019) .
40. *European Commission*, (2020), "Reducing emissions from aviation", https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
41. ICAO, (2019), "CORSIA FAQs October 2019", URL:https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_FAQs_October%202019_final.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
42. Pegasus Hava Taşımacılığı Anonim Şirketi, (2019), "Sera Gazı Envanteri İzleme ve Raporlama Çalışmaları Hakkında Genel Bilgilendirme ve 2019 Emisyon Raporlama Çalışması",
43. ICAO Assembly, (2013),"Reducing Emissions From Aviation Through Carbon-Neutral Growth From 2020- Working Paper, 38th ICAO Assembly", (Eylül-Ekim 2013), https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/186/PositionPaper-ICAO-ASSEMBLY-2013.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
44. Abate, Megersa; Christidis, Panayotis; Joko Purwanto, Alloysius; (2020) , "Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic", *Journal of Air Transport Management Volume 89*, (Ekim 2020)
45. SESAR Joint Undertaking, "Benefits Environment", URL:<https://www.sesarju.eu/approach/environment> (Erişim zamanı; Aralık, 1, 2020)
46. Haberler.com, "Pegasus'tan Artan Yakıt Maliyetlerine 'Hedge' Önlemi", (23 Mart 2019),<https://www.haberler.com/pegasus-tan-artan-yakit-maliyetlerine-hedge-onlemi-11872050-haber/>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
47. AIRCRAFT IT Operations, (2019), "Case Study: Volotea", (Eylül-Ekim 2019)
48. AIRCRAFT IT Operations, (2018) "Case Study: Ukraine International Airlines", (Temmuz-Ağustos 2018)
49. IATA, "Fuel Efficiency Program Development", <https://www.iata.org/en/services/consulting/airlines/fuel-efficiency>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
50. Cranfield University Air Transport Department, (2008), "Fuel and air transport: A report for the European Commission ", http://ec.europa.eu/transport/modes/air/doc/fuel_report_final.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
51. IATA, "IATA Fuel Efficiency Program",<https://www.iata.org/contentassets/100e39327f164f63924f8b2bc371e260/cons-sfo-fuel-efficiency-prog-brochure.pdf>. (Erişim Tarihi:1 Aralık 2020)
52. EIA, (2020), "COVID-19's impact on commercial jet fuel demand has been significant and uneven", (7 August 2020),<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44676>, (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
53. Abate, Megersa; Christidis, Panayotis; Joko Purwanto, Alloysius; "Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic", *Journal of Air Transport Management Volume 89*, (Ekim 2020)
54. IBA, (2020), "The Environmental Exit Plan After COVID-19", (Haziran 2020), <https://www.iba.aero/insight/the-environmental-exit-plan-after-covid-19/>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
55. IEA, (2020), "The COVID-19 Crisis and Clean Energy Progress - Tracking Clean Energy Progress Report", (Haziran 2020), <https://www.iea.org/reports/the-covid-19-crisis-and-clean-energy-progress/transport#aviation>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
56. Nagarajan, Shalini; (2020), "Goldman Sachs says jet fuel demand will accelerate in 2021, driven by availability of a COVID-19 vaccine by the second-quarter", (25 Eylül 2020), <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/goldman-sachs-jet-fuel-demand-will-accelerate-in-2021-2020-9-1029622309>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
57. ATAG, (2020), "Fact sheet 3: Tracking aviation efficiency", https://aviationbenefits.org/media/167120/fact-sheet_3_tracking-aviation-efficiency.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
58. "IEA, "More efforts needed Aviation Tracking Report", (Haziran 2020); <https://www.iea.org/reports/aviation>. (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
59. G. Fleming, Gregg; de Lépinay, Ivan; (2019), "Environmental Trends in Aviation to 2050", ICAO 2019 Environmental Report, Chapter 1, Pages 17-23, 2019, [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB%20\(1\).pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB%20(1).pdf), (Erişim Tarihi: 1 Aralık 2020)
60. Japan Aircraft Development Corporation, (2019), "Worldwide Market Forecast 2019-2038", (Mart 2019).
61. Evolve Fuel Management,https://www.evolveconsulting.nl/wp-content/uploads/2015/06/Evolve_FuelManagement_hogeresolutie.pdf. (Erişim Tarihi; 1 Aralık 2020)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

