

# “BİYOJET YAKITLAR” RAPOR ÖZETİ\*

İklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak için küresel çabaların bir parçası olarak, havacılık sektörünün 2050 yılına kadar karbon emisyonlarında yüksek azaltımlar yapması gerekiyor. Sektörün birden fazla strateji izlemesi gerekmesine rağmen, biyokütleden türetilen havacılık yakıtlarının (biyojet yakıtları olarak bilinir) büyük ölçekli üretimi ve kullanımı, sektörün karbondan arındırılmasında kritik bir rol oynayacaktır.

Rapordaki ana bulgular aşağıdaki gibidir:

- Küresel olarak, havacılık 2019'da 915 milyon ton karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretti (toplam küresel emisyonların %2'si). Salınan CO<sub>2</sub>, referans senaryosunda (Business As Usual BAU) 2050 yılına kadar ikiye katlanacak. COVID-19 salgını sektörün emisyonlarını etkilemiş olsa da endüstrinin birkaç yıl içinde toparlanması, COVID öncesi emisyonlara ulaşması ve bu emisyonları aşması muhtemeldir.
- Endüstri (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği [IATA] ve Hava Taşımacılığı Eylem Grubu [ATAG] aracılığıyla) 2050 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonlarında %50'lik bir azalma taahhüt etmiştir. Bu, verimlilik iyileştirmeleri, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı (biyokütle ve sentetik hammaddelerden), karbon dengeleme ve yeni teknolojiler dahil olmak üzere birden fazla yaklaşımla sağlanacaktır. CO<sub>2</sub> dışı emisyonların önemli bir iklim etkisi vardır ve havacılığın iklim etkisinin üçte ikisine katkıda bulunur (Lee ve diğerleri, 2021), ancak bunlar şu anda resmi hedeflerde ele alınmamaktadır.
- Yüzyılın ortasına kadar ekonomileri için net sıfır emisyon hedeflerini taahhüt eden artan sayıda ülke var iken (tüm G7 ekonomileri ve Avrupa Birliği dahil bugüne kadar 30'dan fazla ülke), özellikle planlar önemli miktarda denkleştirme içeriyorsa, havacılık emisyonlarındaki %50'lik bir azalma net sifıra ulaşmak için yeterli olmayabilir.
- IRENA'nın Mart 2021'de Dünya Enerji Dönüşümü Görünümü raporunda yayımlanan 1,5°C Senaryosunda havacılık emisyonlarının 2050 yılına kadar yaklaşık %90 oranında düşmesi gerektiği öngörülüyor. Bu, sıcaklık artışlarını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde tutma hedefiyle tutarlıdır. Önemli emisyon azaltımları için gereken acil tatbik edilmesi gereken takvime göre, yakıtların karbon yoğunluğundaki herhangi bir azalmanın hızlı bir şekilde başlaması ve hızlanarak devam etmesi gerekmektedir.
- Derin emisyon azaltımlarına ulaşmak, mevcut uçaklarda modifikasyonlar, elektrikli ve hibrit uçaklar gibi yeni tahrik sistemleri (muhtemelen küçük uçaklar/kısa mesafeli ve sınırlı sayıda yolcu için en uygun) ve hidrojen kullanımı (muhtemelen kısa ve orta

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)

mesafeli ve orta ölçekli uçaklar için uygundur) dahil olmak üzere yeni teknolojiler gerektirecektir. Ek olarak, uçuş talebinin azalması da emisyon düşüşlerini etkileyebilir. Alternatif tahrik sistemleri kullanan ilk ticari uçak yakında piyasaya çıkacak olsa da uçakların nispeten uzun ömürlü olması gerektiğinden (20-35 yıl) bu alternatiflerin sektöre geniş çaplı nüfuz etmesi ve önemli emisyon azaltımlarının sağlanması birkaç on yıllık zaman zarfında olabilecektir.

- COVID kaynaklı azalmadan önce, yıllık jet yakıtı tüketimi yaklaşık 360 milyar litre/yıl idi. Bunun 2050 yılına kadar potansiyel olarak iki katından fazla olacağı tahmin ediliyordu (Galford, 2019; ICAO, 2019a; OPEC, 2020).
- 2020'lerde ve 2030'larda emisyonlarda erken azalmalar ve ayrıca 2050'ye kadar derin azalmalar elde etmek için sürdürülebilir havacılık yakıtlarının (yani geleneksel jet yakıtına kıyasla emisyonları önemli ölçüde azaltan yakıtlar) kullanılması elzem olacaktır. Biyojet yakıtları, şu anda mevcut olan en fazla denenmiş ve kabul görmüş sürdürülebilir havacılık yakıtı türüdür. Sentetik jet yakıtı yüksek maliyet nedeniyle mevcut üretimi oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, biyojet yakıtları, önümüzdeki on yılda maliyet etkin ölçeklendirme ve kullanım için en fazla söz sahibi olan jet yakıtıdır.
- Şu anda çoğu biyojet, kullanılmış yemeklik yağlar gibi katı ve sıvı yağlardan ve greslerden (FOG'lar) hydrotreatment yoluyla üretilmektedir. Bu oleokimyasal/lipid stokları aynı zamanda HEFA veya HVO olarak da bilinir. Alkolden jetyakıtına küçük hacimler şu anda mevcuttur ve bu teknolojinin yanı sıra gazlaştırma ve Fischer-Tropsch sentezi gibi diğerleri, uzun vadede daha büyük hacimler sağlayacaktır.
- Mevcut biyojet üretimi yaklaşık 140 milyon litre/yıldır (2019) ve üretim önemli ölçüde artmasına rağmen (2018'de yalnızca 7 milyon litre iken), ticari hacimler küçük kalmaktadır (şu anda havacılık sektörü tarafından kullanılan yakıtın %1'inden azı). Bu, teknoloji geliştirme hızının yavaş olması ve bu yakıtların yüksek maliyeti gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır.
- Ticari üretim şu anda rutin olarak dokuz havalimanına tedarik sağlayan iki fabrika ile sınırlıdır. Gerçek karışım oranları bilinmemekle birlikte, biyojet yakıtı tipik olarak fosil jet yakıtı ile düşük oranlarda karıştırılmaktadır. Kümülatif olarak, bugüne kadar 315 000'den fazla uçuşta biyojet yakıtlarının bir karışımını kullanıldı.
- Biyojet yakıtlarının ek faydalarından biri, çeşitli teknoloji yollarının aynı zamanda diğer uygulamalarda kullanılacak daha düşük karbon yoğun dizel veya benzin fraksiyonları üretmesidir.
- Bugüne kadar, biyojet yakıtının petrol türevi jet yakıtları ile karıştırılmasına veya birlikte işlenmesine izin veren sekiz yol, ASTM sertifikası almıştır. Halihazırda bu şekilde üretilen ve kullanılan biyojet yakıtının büyük çoğunluğu HEFA/HVO yolu aracılığıyla FOG'lardan türetilmektedir.
- HEFA/HVO yoluyla üretilen yakıtlar, petrol jet yakıtının mevcut maliyetine ve biyojeti yapmak için kullanılan lipid besleme stoğuna bağlı olarak, geleneksel jet yakıtından

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)

üç ila altı kat daha pahalıdır. Eylül 2020 itibariyle HEFA'nın fiyatı, Argus Media endeksine (Argusmedia, 2020) dayalı olarak 2.124 USD/ton idi; bu, varil başına yaklaşık 272 USD veya litre başına 1,7 USD'dir.

- Biojet fraksiyonu, HEFA/HVO biyorafinerilerinin yakıt çıktısının bir bileşenidir. Şu anda rafineriler için biyojet fraksiyonunu yenilenebilir dizelden (veya gelişmiş biyodizelden) ayırmak yerine tüm sıvı ürünü yenilenebilir dizel olarak satmaları daha uygundur, ancak politika ve teşviklerdeki değişiklikler kısa vadede mevcut biyojet hacmini artırmak için bunu ele alabilir.
- Sınırlı yatırım ve yerinde doğru politikalar ile, neredeyse tüm mevcut yenilenebilir dizel tesisleri, sıvı ürünü jet ve dizel olmak üzere iki ayrı yakıt ürününe ayırarak yenilenebilir dizelin yanı sıra biyojet üretmeye teşvik edilebilir. Mevcut tüm HEFA üretim tesisleri, izomerizasyon ve fraksiyonasyon için reaktörler gibi ek altyapıya yatırım yapsa ve biyojet fraksiyonunu ayırmak için süreçleri uygulamaya koysa, ek 1 milyar litre biyojet yakıtı kullanılabilir hale gelebilir (mevcut hacmin yaklaşık yedi katı).
- Biyojet fraksiyonunun maksimum potansiyel yüzdesi %15'ten yaklaşık %50'ye yükseltilebilir, ancak bu, daha fazla işleme ve daha yüksek hidrojen talebi nedeniyle daha yüksek üretim maliyetlerine neden olurken, aynı zamanda sıvı üründe %10'luk bir verim kaybına neden olur (Pearlson, 2011).
- Mevcut tesislerin ötesinde, atık FOG'lardan daha yüksek hacimlerde yenilenebilir dizel ve biyojet üretmek için yeni veya genişletilmiş üretim kapasitesi için önemli bir kapsam vardır. Mevcut birçok tesis, artan yenilenebilir dizel talebini karşılamak için hızla genişlemektedir. Bu tesislerin birçoğu da kolayca biyojet üretebilir.
- Biyojet'e giden HEFA/HVO rotası teknik olarak olgun olduğundan, çözülmesi gereken en büyük zorluk, hammaddelerin yüksek maliyeti ve sürdürülebilirliktir. Kullanılmış yemeklik yağlar/yüksek yağlar gibi daha sürdürülebilir, daha az karbon yoğun "atık" yağlar yalnızca sınırlı miktarlarda mevcuttur. Kullanılmış yemeklik yağın (UCO) tahmini hacimlerinden potansiyel biyojet üretimi, HEFA üretiminin %15-50'lik bir jet fraksiyonuna dayalı olarak, dünya çapında 3,5-12,0 milyar litre aralığındadır. Bu ihtiyatlı bir tahmindir ve diğer raporlar, atık yağların yılda 85 milyon tona (101 milyar litre) kadar sürdürülebilir havacılık yakıtı sağlayabileceğini göstermiştir (McKinsey & Company, 2020a).
- Üretimi önemli ölçüde büyütmek için lignoselülozik biyokütle gibi alternatif hammaddeler ve Fischer-Tropsch ile gazlaştırma ve/veya piroliz veya hidrotermal sıvılaştırma gibi teknolojiler gerekli olacaktır.
- Soya, ayçiçeği ve kanola/kolza tohumu gibi diğer bitkisel kaynaklı yağlar da kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin bir parçası olarak belirli tarımsal uygulamalara ve coğrafi konuma bağlı olmalarına rağmen, çeşitli çalışmalar bu ekinlerin belirli durumlarda nispeten düşük karbon yoğunluğunu ve genel

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)

sürdürülebilirliğini göstermiştir. Bu hammaddelerin nispeten yüksek maliyeti ve olası gıda mahsullerini yönlendirmeye ilişkin süregelen endişeler, gıda dışı biyokütle kullanan teknoloji yollarının ticarileştirilmesine olan ilgiyi artırdı.

- Ek biyojet hacimleri, orman ve tarım kalıntıları, çamur, alg ve atık gazlar gibi diğer biyojenik hammaddelerden elde edilebilir. IRENA ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalar, bu malzemenin çevreyi olumsuz etkilemeden yıllık olarak tedarik edilebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, hammaddenin fiili kullanımı maliyete, sürdürülebilirliğe ve diğer uygulamalarla rekabete bağlı olacaktır. Tedarik zinciri yeniliği ve optimizasyonu, gelecekteki maliyet iyileştirmelerinde önemli bir rol oynayacaktır.
- Gelecekte, lipid/oleokimyasal hammaddelerin sınırlı mevcudiyeti nedeniyle, ek biyojet teknolojileri ve besleme stoklarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu düşük karbon yoğunluklu yakıtlar, gazlaştırma, piroliz, hidrotermal sıvılaştırma ve alkolden jete dönüştürme gibi işlemlerle üretilebilir.
- Bu “gelişmiş” biyojet yakıtları, tarım, ormancılık ve atık atıklar ve algler gibi daha fazla mevcut biyokütle substratlarından elde edilecektir. Orta ve uzun vadede biyojet yakıtının bu tür teknolojiler aracılığıyla yüksek hacimlerde üretilmesi muhtemel olsa da yolların daha tam olarak ticarileştirilmesi ve etkili biyokütle tedarik zincirlerinin kurulması gerekmektedir.
- Kısa ve orta vadede biyojet yakıtlarının üretim maliyeti konvansiyonel jet yakıtına göre çok daha yüksek olacaktır. Uygun politikalar uygulanmadıkça bu büyük bir engel olacaktır. Hammadde maliyetinin yüksek olması HEFA gibi teknolojiler için bir engel olurken, yüksek sermaye maliyeti gazlaştırma gibi diğer teknolojiler için engel olacaktır.
- Zamanla, birden fazla tesis faaliyete geçtikçe biyojet fiyatları düşecektir. Öğrenmenin, teknoloji optimizasyonunun geliştirilmesine ve ayrıca optimize edilmiş hammadde tedarik zincirlerinin kurulmasına yardımcı olması muhtemeldir. Biyojet'in konvansiyonel jet yakıtlarıyla fiyat paritesine ulaşip ulaşmayacağı veya ne zaman ulaşacağı belli olmasa da karbon fiyatlandırması önemli bir rol oynayacaktır.
- Bu nedenle hem pazar talebi yaratmak hem de biyojet yakıtlarının gelişimini daha da hızlandırmak için politikalar gerekli olacaktır. Daha fazla üretim tesisi kurmak için önemli sermaye yatırımına ihtiyaç duyulacak olsa da hibe ve kredi garantileri şeklindeki teknoloji teşvik politikaları da bu tesislerin inşasını ve işletilmesini kolaylaştırmaya yardımcı olacaktır.
- 2050 yılına kadar ihtiyaç duyulacak biyojet hacmi, havacılık talebi ve diğer teknolojik ve sistemik seçeneklerin ne ölçüde benimsendiği konusunda yüksek derecede belirsizlik bulunmaktadır. Bununla birlikte, gelecek projeksiyonları ve teknolojik ve pratik kısıtlamalar göz önüne alındığında havacılık 2050 hedeflerini karşılayacaksa,

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)

alternatif, düşük karbon yoğunluklu tahrik sistemleri, büyük hacimli biyojet yakıtı ve e-yakıtlar (sentetik yakıtlar) gerekli olacaktır.

- Havacılık sektörünün %50'lik emisyon azaltma hedefinin, 2050 yılına kadar yılda 100 milyar litreden fazla kullanılabilir biyojet gerektirmesi muhtemeldir. IRENA'nın küresel sıcaklık artışını sifıra indirme hedefi olan 1,5°C Senaryosunda, yılda yaklaşık 200 milyar litre biyojet yakıtı gerekeceği tahmin ediliyor. Yatırım maliyetleri teknolojilere, hammaddelere ve coğrafi konumlara bağlı olarak önemli ölçüde değişse de bunun yılda yaklaşık 5 milyar ABD doları tutarında yatırım gerektireceği düşünülmektedir.
- Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), mevcut hammadde ve teknoloji senaryolarına dayalı olarak uluslararası havacılıkta konvansiyonel jet yakıtının tamamen değiştirilmesine yönelik bir çalışma yürütmüştür. Gerekli hacimler talepteki büyümeye ve emisyonları azaltmak için diğer tedbirlerin kabiliyetine bağlı olmasına ve önemli belirsizliğe tabi olmasına rağmen, 460-730 milyar litrelik konvansiyonel jet yakıtının tamamen değiştirilmesi, yaklaşık 170 yeni büyük biyo-rafineri gerektirecektir. (ICAO, 2019a).
- Biyojet yakıtlarının HEFA'ya dayalı üretimi, oldukça güvenilir ve doğru maliyet bilgilerinin mevcut olduğu tek tamamen ticari teknolojidir. Diğer “gelişmiş” biyojet yakıt teknolojilerinin tekno-ekonomik analizlerinin çoğu, modellemeye ve doğrulanmamış varsayımlara dayanmaktadır.
- Tekno-ekonomik analizlerde hesaplanan biyojet yakıtlarının minimum yakıt satış fiyatı önemli bir ölçü olmasına rağmen, biyojetin daha geniş “değeri”nden ayrı düşünülmemelidir. Örneğin, yakıtın spesifik karbon yoğunluğunun, politika önlemleri yoluyla sağlanan teşvikler üzerinde etkisi olacaktır.
- Maliyete bakmanın alternatif bir yolu, sadece minimum yakıt satış fiyatı yerine karbon azaltımının spesifik maliyetini hesaplamaktır, çünkü bu, yakıtın fiyatını ve sunulan emisyon azaltımlarına göre fiyatı hesaba katmaktadır.

### **Gerekli Politikalar**

- Önemli emisyon azaltımları elde etmek için gereken biyojet üretim seviyelerini sağlamak, çok zor olsa da teknik olarak mümkündür. Bu, hem uluslararası (örneğin ICAO) hem de ulusal düzeyde destekleyici bir politika çerçevesi gerektirecektir.
- Biyojet yakıtları, yakın gelecekte, geleneksel jet yakıtından daha pahalı olması muhtemel olduğundan, fosil kaynaklı jet ve biyojet yakıtları arasındaki fiyat farkını kapatmak için yenilikçi ve istikrarlı politikalara ihtiyaç duyulacaktır.
- Karayolu taşımacılığı için düşük karbon yoğun ulaşım yakıtlarının üretimini ve kullanımını teşvik eden mevcut politikaların, düşük karbon yoğunluğuna sahip lipid/biyo-ham türevli yakıtların havacılık için tercihli olarak kullanılmasına izin verecek şekilde uyarlanması gerekmektedir.

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)

- Hacimsel biyoyakıt zorunlulukları (örneğin biyoetanol/ biyodizel) genellikle bir yakıtın emisyon azaltma potansiyelini dikkate almaz. Nihai bir yakıtın genel karbon yoğunluğunu dikkate alan düşük karbonlu yakıt standartlarının, düşük karbon yoğunluklu ulaşım yakıtlarının tedarikini, üretimini ve kullanımını teşvik etmede etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bu tür politikalar, hacimsel zorunluluklardan ziyade emisyon azaltma hedefleri belirler ve gerçek hacim, karbon yoğunluğuna bağlı olarak değişebilir.
- Çeşitli düşük karbon yoğunluklu yakıtlar arasındaki rekabeti ele almak için biyojet yakıtlarına yenilenebilir dizelden daha fazla “kredi” tahsis etmek için bir çarpanın (örn. x1,2) dahil edilmesi gibi ilave politika unsurlarına ihtiyaç duyulacaktır.
- Düşük karbonlu yakıt standardı gibi politikalar, ağırlıklı olarak yenilenebilir dizel üretmek için World Energy ve Neste gibi şirketlerin öncülüğünde olduğu gibi rafinerilerin “yeniden işlevlendirilmesi” yoluyla veya ortak işleme stratejileri yoluyla BP ve ENI'ye ait bazı rafineriler tarafından benimsenenler gibi petrol rafineri sektörünün katılımını teşvik edebilir.

\* “Biojet Fuels”, [IRENA](#)