

HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT KULLANILMASININ İNCELENMESİ

Nadir Yılmaz¹, Alpaslan Atmanlı²

¹ Department of Mechanical Engineering, Howard University, Washington DC, USA, E-Mail: yilmaznadir@yahoo.com

² National Defense University, Istanbul, Turkey, E-Mail: aatmanli@hotmail.com

DOI: [10.23890/SUHAD.2016.0103](https://doi.org/10.23890/SUHAD.2016.0103)

ÖZET

Dünya ekonomisi büyüdükçe ticaret yapan ülkeler için ürünlerin hızlı ulaştırılması isteği, başta var olan enerji kaynaklarının etkili kullanılmasını ve sonrasında ucuz ve temiz enerji kaynaklarının elde edilmesini önemli hale getirmiştir. Özellikle havayolu ile yolcu taşımacılığı başta olmak üzere kargo transferlerinin büyük çoğunluğunun yapıldığı havacılık sektöründe ulaşım maliyetini belirleyen en önemli etkenlerden bir tanesi de bu taşıtlarda kullanılan yakıtlardır. Günümüzde petrol türevli yakıt kullanan hava taşıtları atmosferdeki kirletici emisyonların artışına da olumsuz etki yapmaktadır. Karayolu taşıtlarında bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması maksadıyla uzun yıllardan beri alternatif yakıt kullanımına yönelik çalışmalar yapılmakta ve ülkeler hem çevreyi korumak hem de petrole olan bağımlılıklarını azaltmak için biyoyakıt kullanılmasını teşvik etmektedir. Benzer şekilde havacılık sektöründe de bu potansiyelin belirlenmesi ve alternatif yakıtların kullanılabilirliğinin incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu maksatla yapılan çalışmada, havacılık sektöründe biyoyakıt kullanımının gerekliliği ve kullanılacak alternatif yakıt türlerinin özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, gelecekte üretilecek hava taşıtlarının yakıt sistemleri ve özgün tasarımları sayesinde, içten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerinde kullanılacak alternatif yakıtların benzer özelliklerde olabileceği bunun karayolu ve havayolu taşımacılığında yakıt birliği yaratarak ekonomik gelişmeye ve çevrenin korunmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hava taşıtları, biyoyakıtlar, yakıt özellikleri, emisyon

EXAMINATION OF THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN AVIATION

ABSTRACT

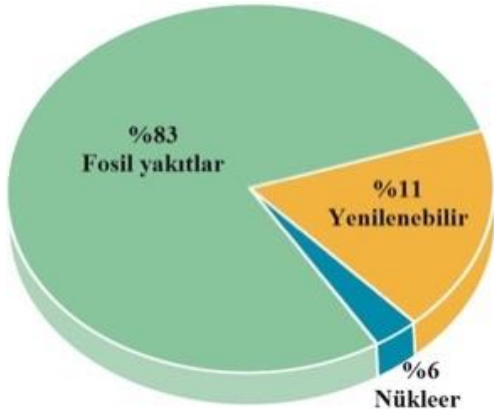
As the world economy grows, it has become important for countries to transport products quickly, to use energy efficiently, and to obtain cheap and clean energy resources. One of the factors determining the cost of transportation in the aviation sector, the vast majority of which includes cargo transfers and passenger transport by airlines, is the fuels used in air vehicles. At present, air vehicles using petroleum-derived fuels have a negative effect on the levels of pollutants in the atmosphere. With the purpose of eliminating those negative effects on ground (road) vehicles, research on alternative fuels has been done for many years, and in many countries, in order to protect the environment and to decrease the dependency on oil, through promoting the use of biofuels. Similarly, it is necessary to examine the use of alternative fuels and to explore their potential usability within the aviation sector. With this purpose in mind, this study outlines the necessity of using biofuels in the aviation sector and the characteristics of alternative aviation fuels. It is concluded that there is potential for alternative fuels, which would have similar properties to those currently being investigated in internal combustion engines and gas turbines, and their creation would call for the possibility of new fuel systems and unique designs for aircrafts in coming years. Use of such common fuels may create a consensus in both ground and air transportations, which would contributing positively to both economic development and environmental protection.

Keywords: Air vehicles, biofuels, fuel properties, emission

1. GİRİŞ

Enerji günlük yaşantımızda önemli bir rol oynamaktadır ve her ülkenin sosyo-ekonomik gelişiminde de aynı öneme sahiptir (Demirbaş A, 2009). Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Güvenilir, ucuz ve temiz enerji arzı günümüzün en önemli sorunu haline gelmiştir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkede, sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulmaktadır. Nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, dünya enerji tüketiminin de her yıl artacağını göstermektedir.

Dünya birincil enerji kaynakları tüketiminde son 5 yılın başlangıcı olan 2012 yılında 2011 yılına göre %2,5 artış kaydedilmiştir. Bu artış son yıllarda daha da belirginlik kazanmıştır. Günümüzde fosil yakıtların enerji tüketimindeki baskın payı sürmektedir (EIA, 2012; Dudley B, 2012). 2011 yılında tüketilen 12 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) enerjinin %33'ü petrol, %28 kömür, %22'si doğal gaz, %6'sı nükleer ile geri kalan %11'lik kısmı ise diğer enerji kaynaklarıyla karşılanmıştır (EPDK, 2012; EPDK 2012*). Enerji çeşitlerine göre 2011 yılı dünya enerji tüketimi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Enerji çeşitlerine göre 2011 yılı dünya enerji tüketimi

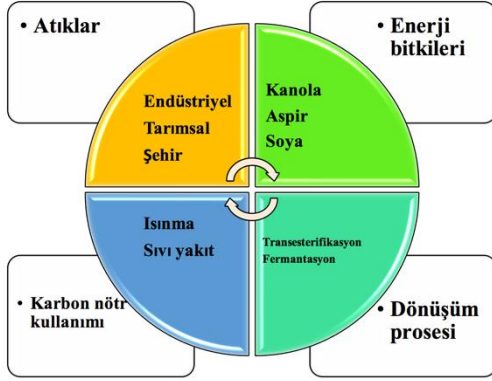
Ulaştırma sektöründe petrol kaynaklı sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. 2011 yılı dünya petrol tüketiminin %54'lük bölümü karayolu, havacılık, denizcilik ve demiryolu taşımacılığında oluşan ulaşım sektöründe, %18'i sanayi sektöründe, %11'i evsel, ticari ve tarımsal alanda, %10'u petrokimya sektöründe, %7'si elektrik üretiminde gerçekleşmiştir (World Energy Council, 2011; IEA, 2012; OPEC, 2012). 2020 yılına kadar sektörel bazda petrol tüketim değişiminin öngörülerine göre, petrol tüketimindeki artışın %74'ünün ulaşım sektöründe olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, gelecek dönemlere ilişkin

petrol tüketimi öngörülerinde, dünya araç parkındaki ve kişi başına düşen araç sayısındaki değişim büyük önem arz etmekte olup, bu oranlar petrol üreten ülkeler tarafından yakından takip edilmektedir. 2009 yılı istatistiklerine göre dünyada bulunan yaklaşık 870 milyon otomobilin %70'i, Türkiye'nin de içinde bulunduğu OECD ülkelerinde bulunmaktadır (EPDK, 2012; OPEC, 2012; TÜİK 2011).

Dünya genelindeki üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu atmosfere kirletici bileşenler yayılmaktadır. Bu kirleticilerin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Motorlu taşıt sayısının her geçen gün artmasına paralel olarak, bu taşıtların egzozlarından kaynaklanan kirleticilerin toplam atmosfer kirliliğindeki payı da artmaktadır. Atmosferin bileşimindeki küçük farklılaşmalar bile büyük iklimsel değişimlere yol açabilmektedir. Türkiye'nin de 2009 yılında imzaladığı atmosferdeki sera etkisini düzenleyen Kyoto protokolünde karbondioksit (CO₂) en büyük paya sahiptir (T.C. Resmî Gazete, 2009). CO₂ emisyonu dünya genelinde 2010 yılında 2009 yılına göre %4,6 artış göstermiştir. 2010 yılında atmosfere salınan toplam CO₂ emisyonunun %36'sı petrol kaynaklıdır ve bunun %22'si de ulaştırma sektöründen kaynaklanmaktadır (IEA, 2012). Bu sektör içerisinde karayolu ve havayolu taşıtlarının çevre açısından sürdürülebilir bir enerji kaynağı ile beslenmesi gerekmektedir.

Ulaştırma sektöründe en fazla kullanılan hava taşıtlarında alternatif yakıt olabilecek yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük teknik potansiyele "biyokütle" sahiptir (Sidibe vd., 2010). Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm biyolojik maddeler biyokütle enerji kaynağıdır (Ramadhas vd. 2004). Bu kaynaklardan üretilen yakıtlar ise "biyoyakıt" olarak tanımlanmaktadır (Srivastava vd., 2000; Nigam vd., 2011). Sürdürülebilir enerji kaynağı olan biyoyakıtlar, sera gazı emisyonunu önemli ölçüde azaltan, hava kalitesini artıran, petrol ithalatında daha az bağımlılık, istihdam ve yeni pazarlar için önemli bir enerji kaynağıdır (Nigam vd., 2011). Biyokütle potansiyeli yüksek olan ülkelerde biyoyakıt olarak bitkisel yağlar, yenmeyen nitelikteki yağlar ve biyoalkoller ön plana çıkmaktadır.

Biyokütlenin kullanılması için iki yol vardır. Bunlar, elektrik ve ısı üretimi için biyokütlenin direkt olarak yakılması, karbon monoksit, hidrojen ve metan gibi çeşitli gaz veya etanol, metanol, bütanol, biyoyağ, biyodizel gibi sıvı yakıtlara dönüştürülmesidir (Demirbaş, A vd., 2008; REN21, 2012). Biyokütlenin hammaddesi ve tüketilmesi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Biyokütlenin hammaddesi ve tüketimi

Dünyanın belli bölgelerinde üretilen petrol, sınırlı rezervlere sahiptir. Petrol fiyatlarındaki ani yükseliş, kaynağının sınırlı olması, özellikle sera gazı ile ilgili çevresel etkilerin insan ve diğer canlıların sağlığına önemli derecede zarar verici seviyeye ulaşması, sağlık ve güvenlik konuları göz önüne alındığında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu noktada biyokütleden üretilen biyoyakıtlar, her yerde bulunabilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, özellikle çevreye zararsız yöntemlerle elektrik üretebilen, kara ve hava taşıtları için alternatif yakıt kaynağı olabilen stratejik bir enerji kaynağıdır.

Havayolu taşımacılığında yıllık ortalama 2,2 milyar yolcu taşınmaktadır ve bu yolculara hizmet eden 32 milyonluk kişilik bir iş gücü bulunmaktadır. 1980 yılından beri giderek artan bir yakıt tüketimiyle bu rakamlar dünya ekonomisinde büyük bir yere sahiptir. Canlı bir sektör olan havayolu taşımacılığı aynı zamanda çevresel sorumluluğu da üzerine almak zorundadır. Küresel iklim değişikliği verilerine göre havayolunda kullanılan taşıtlar 2012 yılında 689 milyon ton CO₂ emisyonu salınımı ile toplam emisyon payı içerisinde %2'lik kısmını oluşturmaktadır bu oranın 2050 yılına kadar %3'e ulaşacağı öngörülmektedir. CO₂ emisyonundaki bu artışın azaltılmasına yönelik dünyada çeşitli önlemler alınmaktadır. Havacılık sektöründe de yakıtların 40 yıl öncesine göre daha verimli kullanılmasına yönelik motor ve yakıt teknolojilerinin geliştirilmesi önemli bir adım olmuştur. Her 100 km'de yolcu başına 3,5 litre olan yakıt tüketimi son yıllarda 3 litreye kadar gerilemiştir. Airbus A380 ve Boeing 787 yapılan geliştirme çalışmaları neticesinde 3 litrenin de altında yakıt tüketmektedir.

Hava taşıtlarında yakıt tüketiminin azaltılması ile birlikte karbon-nötr bir emisyon salımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bunu gerçekleştirmek için hava taşıtlarında çevreye dost yakıtların kullanılmasına yönelik araştırmaların yapılması önemli hale gelmiştir. 2008 yılında başlayan

çalışmalar da birçok test uçuşu üretilen biyoyakıtlar ile gerçekleştirilmiş ve Amerikan test standartları kuruluşu (ASTM) standartlarının sağlandığı 2011 yılı Temmuz ayından itibaren uçak ve motor üreticileri ve petrol şirketleri biyoyakıtların hava taşıtlarında kullanılmasına onay vermişlerdir. Aradan geçen süre içerisinde bazı havayolu şirketleri ticari uçuşlarında biyoyakıtları kullanmışlardır ve bu konudaki araştırma çalışmaları devam etmektedir. Uluslararası havayolu taşımacıları birliği (IATA) ve uluslararası sivil havacılık örgütü (ICAO) yapılan bu çalışmaları desteklemektedir ve 2020 yılına kadar 2'nci nesil biyoyakıtların %6 oranında kullanımına yönelik hedef belirlemiştir ve Boeing firması da bu amacı desteklemektedir.

Çevrenin korunması ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla tüm ülkeler enerji giderlerinin büyük bir kısmını oluşturan petrole olan bağımlılıklarını azaltmak için alternatif yakıtlara yönelmeye başlamışlardır. Kara ve hava taşıt üreticileri de bu gelişmelerin ışığında motor ve taşıt dizaynlarında alternatif yakıtlara uygun araçlar üretmeyi gündeme almışlardır. Sıvı yakıt tüketiminin en çok olduğu karayolu taşımacılığında ki alternatif yakıtların hava taşıtları yakıt sistemleri ve kullanım şartlarına uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada pistonlu içten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerinde kullanılabilecek alternatif yakıtların, üretim potansiyeli ve çevresel etkilerine göre ortak yönlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. TARTIŞMA ve DEĞERLENDİRME

İçten yanmalı motorlar için geliştirilecek alternatif yakıtlardan en önemli beklentilerin başında ham maddenin kolay elde edilebilir ve sürdürülebilir olması gelmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda uzun yıllardan beri benzinli ve dizel motorlar için uygun özellikte alternatif yakıtlar üretilmeye çalışılmaktadır ve bu üretimler bu konuda bir üretim tecrübesi oluşturmuştur. Bu yakıtlar başta Avrupa Birliği ve ABD olmak üzere Brezilya, Malezya gibi ülkelerin karayolu taşımacılığında önemli bir yere sahiptir. Bu yakıtlar; biyokütleden üretilen alkoller, hayvansal, bitkisel ve atık yağlardan üretilen biyodizel ve Fischer-Tropsch (FT) gibi sentetik yakıtlardan oluşmaktadır. Benzer şekilde havayolu taşımacılığında kullanılan tüm taşıtlarda da bu alternatif yakıtların doğrudan veya karışım oluşturma şeklinde kullanılabilmesi çevresel ve ekonomik açıdan çok büyük fayda sağlayacaktır.

2.1. Alternatif Yakıtlar

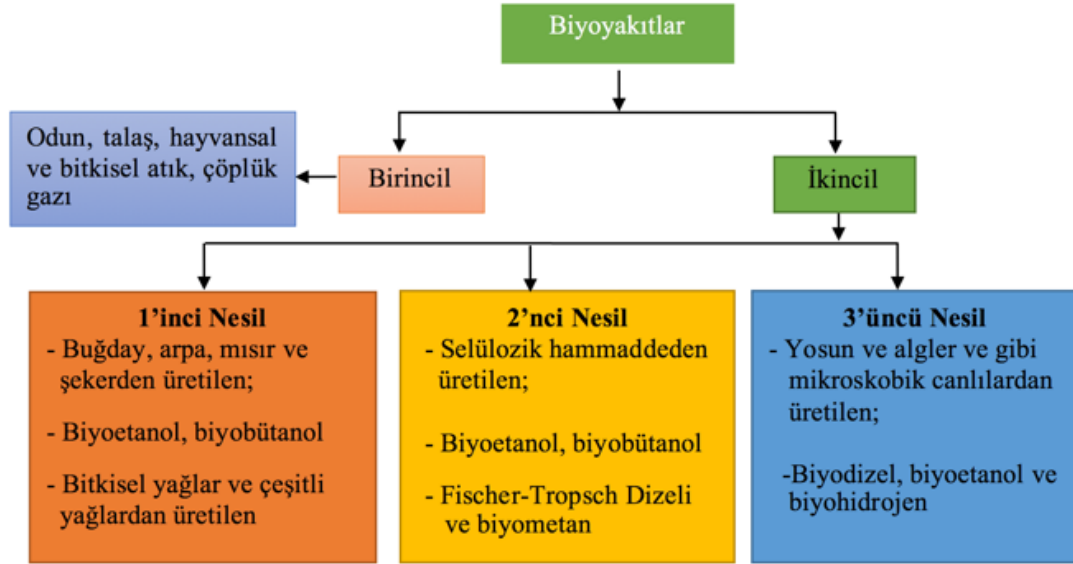
Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar temiz, çevreye dost ve oldukça verimli bir enerjidir. Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünya enerji tüketiminde

büyük bir paya sahip olan ulaştırma sektöründe sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil kökenli sıvı yakıtların yerine kullanılacak sıvı biyoyakıtların başında bitkisel yağlar, bu bitkisel yağlardan üretilen biyodizel ve biyokütleden üretilen biyoalkoller gelmektedir. Biyoyakıtlar fosil kökenli yakıtların yerine kullanıldığı için çevre ve ekonomi açısından büyük önem taşımaktadır. Fosil yakıtlar ile ekonomik olarak rekabet edebilir durumda olan biyoyakıtların kullanıldığı etkin biyo enerji dönüşümlerinin kullanımı son yıllarda artma eğilimindedir (Demirbaş A., 2009; Sidibe vd. 2010).

Çok sayıda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede petrole olan bağımlılığı azaltan, sera gazı emisyon etkisini düşüren ve kırsal alanda gelişmeyi sağlayan biyoyakıtlar için farklı üretim yöntemleri

geliştirilmiştir. Üretim teknolojisine göre birincil ve ikincil olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Birincil biyoyakıtlar doğal ve herhangi bir işlem gerektirmeden kullanılan atıklar, hayvansal yağ, odun, ağaç kabuğu gibi kimyasal bir işlem uygulanmadan direk olarak ısınma, pişirme ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

İkincil olan biyoyakıtlar ise birincil olanların iyileştirilmesiyle üretilmektedir. Bunlar bitkisel yağ, biyodizel, etanol, metanol ve biyogaz gibi ürünler olarak sıralanmaktadır. İkincil biyoyakıtlar da kendi içinde üretim yöntemi ve kullanılan hammaddenin kimyasal işlemler yardımıyla dönüşümüne göre 1, 2 ve 3'üncü nesil olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Nigam vd., 2011). Üretim teknolojisine göre biyoyakıtlar Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3: Üretim teknolojisine göre biyoyakıtlar

İkincil biyoyakıtlar içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak doğrudan veya fosil yakıtlarla karıştırılarak kullanılabilir.

Günümüzde ise özellikle gelişmekte olan ülkelerde fosil yakıtların çevreye verdiği zararlı etkileri en aza indirmek ve bu yakıtların kullanımını azaltmak için alternatif yakıt olarak 2'nci ve 3'üncü nesil kaynaklar ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Ramadhas vd., 2004; Sriyastaya vd., 2000). Aynı zamanda bu çalışmaların gerçekleştirildiği ülkelerde bölgenin toprak, iklim koşulları, üretim miktarına ve gıda amaçlı kullanılmamasına göre bazı bilinen bitkisel yağlar öne çıkmaktadır. Bu yağlardan;

- Kanola yağı; Kanada, İngiltere, İsveç, Fransa, Almanya, İtalya, Finlandiya ve Rusya'da,
- Soya yağı; ABD, Meksika ve Brezilya'da,
- Akçiçek yağı; İspanya, Fransa ve Rusya'da,

- Pamuk yağı; Yunanistan ve Brezilya'da,
- Palmiye yağı; Malezya, Tayland, Endonezya ve Brezilya'da,

- Jatropha yağı; Hindistan, Çin, Endonezya, Tayland ve Filipinler'de,

- Hindistan cevizi yağı; Tayland ve Filipinler'de biyoyakıt olarak kullanılmaktadır (Lin vd., 2011). Bunların yanı sıra özellikle 3'üncü nesil yakıtlar arasında yer alan sentetik yakıtlar ve alglerden üretilen yakıtlar gelecekte önemli alternatif yakıtlar olarak yer almaktadır.

Havacılık sektöründe jet yakıtı olarak adlandırılan ve petrolden üretilen kerosen veya nafta tipi yakıtlar kullanılmaktadır. Kerosen yakıtlar karbon sayısı 8-16 arasında olan Jet A, Jet A-1, JP 5 ve JP 8 yakıtlarıdır. Nafta tipi yakıtlar ise 5-15 gibi geniş bir karbon aralığındaki Jet B ve JP-4 yakıtlarıdır. Aynı zamanda bu yakıtlar kerosen-nafta ve kerosen-benzin (JP-4)

karışımı olarakta kullanılmaktadır (IATA, 2015).
Biyodizel, biyoyakıt olarak yaygın kullanılan

alkollerden etanol ve bütanol ile jet yakıtlarının temel
yakıt özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Biyodizel, etanol, n-bütanol ve jet yakıtının yakıt özellikleri (Demirbaş vd., 2008; Lin vd., 2011; Daggett vd., 2006)

Özellik	Biyodizel (EN14214)	Etanol	n-Bütanol	Jet yakıtı
Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	-	46,07	74,12	≈185
Yoğunluk (g/ml-20 °C)	0,860-0,9	0,789	0,810	0,775-0,84
Viskozite (mm ² /s - 40 °C)	3,5-5	1,08	2,23	8
Alt ısı değeri (MJ/kg)	35-43	26,8	33,1	42,80-43,02
Donma noktası (°C)	-1 - -15	-114,3	-89,5	-47 - -60
Parlama noktası (°C)	>120	8	35	38
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	-	434	385	210
Kaynama noktası (°C)	-	78,4	117,7	150-170
Buhar basıncı (kPa-38 °C)	-	13,8	2,27	14-21
Oksijen içeriği (%)	-	34,8	21,6	-

Bu yakıtların hava taşıtının kullanım amacına uygun olarak seçilmesi ve ASTM D1655 standartlarını sağlaması gerekmektedir. Ticari uçuşlarda kullanılacak yakıtların oktan sayısı, parlama noktası ve donma noktası gibi önemli özelliklerinin bilinmesi ve standartları sağlaması uçuş güvenliği açısından önemlidir. Örneğin Jet A yakıtı ile Jet B yakıtının donma noktaları arasında büyük bir fark bulunmaktadır, kullanılacağı bölgeye göre doğru yakıtın seçilmesi için yakıt özellikleri iyi bilinmelidir. Aynı zamanda askeri amaçlı kullanılan JP yakıtları NATO standartlarını da karşılamak zorundadır. Artan yakıt ihtiyacına bağlı olarak petrolden üretilen bu yakıtların özelliklerini karşılayacak sentetik yakıtlar ve karışımları da kullanılabilir. Bu kapsamda hava araçlarında kullanılacak alternatif yakıtların da Avrupa yenilenebilir enerji direktifi (EU-RED), Amerika yenilenebilir yakıt standartları (US-RFS2) veya RSB gibi sürdürülebilir/yenilenebilir havacılık yakıt standartlarını sağlama zorunluluğu bulunmaktadır.

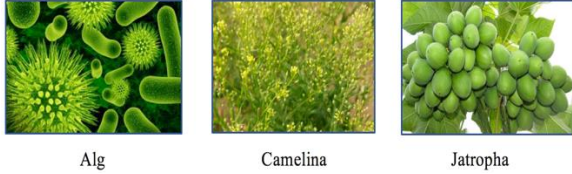
2.2. Hava Taşıtlarında Kullanılabilecek Alternatif Yakıtlar

Havacılık sektöründe yakıt verimliliği, petrole olan bağımlılığının azaltılması ve küresel ısınmaya neden olan CO₂ salınımının azaltılması gibi çevresel faktörler dikkate alınarak alternatif yakıtların kullanılması gerekliliği benimsenmiştir. Üretilen alternatif yakıtların hammadde seçimi, üretim prosesi, yakıt özelliklerinin standartları sağlanması, yakıtın

depolanabilmesi, kolay taşınabilmesi, yaygın bir kullanım ağına sahip olması yönlerinden olumlu sonuçlar vermesi gerekmektedir. Karayolu taşıtlarında olduğu gibi dünya üzerinde var olan biyolojik kaynaklardan üretilebilecek biyoyakıtların hava taşıtlarında kullanabilmesi gelişen sektör için büyük bir fırsat yaratacaktır.

Havacılık sektöründe kullanılan petrol türevli yakıtlara alternatif olabilecek yakıtlar arasında da bitkisel yağ tabanlı yakıtlar (camelina, jatropha ve alg yağı dahil) ön plana çıkmaktadır. Bu yağlardan esterleşme yöntemi ile üretilen biyodizel yakıtı düşük sıcaklıklarda akma noktasının zayıf olması nedeniyle doğrudan jet yakıtı olarak kullanılamamaktadır. Ayrıca üretiminden itibaren oksidasyona uğramaması için 6 ay içerisinde kullanılması gerekmektedir ve bu husus depolama sürecinde sorun yaratmaktadır. Bu kapsamda ilk yapılan araştırma çalışmalarında, Bio-SPK (bio-sentetik parafinik kerosen) olarak adlandırılan jatropha, algae, tallow, babassu ve camelina (Şekil 4) gibi bitkisel yağlardan yüksek sıcaklıkta parçalama yöntemi ile elde edilen biyo-sentetik parafinik kerosen kullanılmıştır. Bu yakıtlar doğrudan jet yakıtının yerine kullanılmadığından belirli karışım oranlarında (%5 ile %20 arasında) jet yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Üretim yöntemi ve çevresel faktörler açısından sürdürülebilir potansiyele sahip olmasına karşın havacılık yakıt standartlarının sağlanması için daha farklı işlemlerin uygulanması

gerektirmektedir bu durumda yakıtın üretim maliyetini artırmaktadır (Daggett vd., 2006). 2014 yılında ASTM jet yakıtlarında 5mg/kg yağ biyodizel karışımı kullanılmasını onaylamıştır.



Şekil 4: Biyo-Jet yakıtı için kullanılan yağ kaynakları

Daha sonra geliştirilen ve halen üzerinde araştırma yapılan çalışmalarda, FT-SPK olarak adlandırılan katı biyokütleden veya kömürden prolez yöntemi ile üretilen Fischer-Tropsch biyo-sentetik parafinik kerosen kullanılmıştır. Bu sentetik yakıt, yakıt özellikleri bakımından havacılık yakıt standartlarını sağlamaktadır ve doğrudan jet yakıtının yerini alabilecek potansiyele sahiptir ancak mevcut üretim prosesi çevresel açıdan çok etkili görülmemektedir (Daggett vd., 2006). Kömür ve biyokütleden büyük üretim potansiyeline sahip olan FT-SPK yakıtının üretimi için direk sıvılaştırma ve parçalı oksidasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan direk sıvılaştırma karışık ve pahalı bir yöntemdir. Bu yöntemde kömür oksijensiz ortamda parçalanarak karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂) ve kül elde edilir. Daha sonra CO ve H₂ miktarları ayarlanarak yüksek basınç altında sıvılaştırma işlemi gerçekleştirilir bu işlem sonucunda CO₂ açığa çıktığı için bu emisyonun azaltılması için ilave önlemler alınması gerekmektedir. Bu yöntem benzer olarak doğal gazdan da GTL (gas to liquids) adında yakıt üretilmektedir. Kömür ve doğal gaz sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde alternatif yakıt olarak değerlendirilememektedir. Şekil 5'de biyoyakıt ve sentetik jet yakıtı üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 5: Biyoyakıt ve sentetik jet yakıtı üretimi

Gelecekteki çalışmalarda ise alkollerin yapılarındaki hidroksil (-OH) nedeniyle su tutma gibi olumsuzluğunu gidermek için etanol ve bütanol gibi

alkollerini oksijensiz hale getirilerek jet yakıtına dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Alkollerin çok düşük ısı değere ve yüksek buharlaşmaya sahip olmaları doğrudan jet yakıtı olarak kullanılmalarında ki en büyük engeldir. Ancak teknolojik gelişmeler ile alkollerin kimyasal yapısının değiştirilmesiyle uygun nitelikte yakıt elde edilebilmektedir (Daggett vd., 2007; Hileman vd., 2008).

2007-2008 yıllarında başlayan bütün bu çalışmalar 2015 yılına gelindiğinde hız kazanmıştır. Ancak bu çalışmalar yapılırken karşılaşılan problemlerin başında ise ekonomik etkenler ön plana çıkmaktadır. Petrol fiyatlarındaki aşağı yöndeki dalgalanmalar alternatif jet yakıtı geliştirme çalışmalarının gelecek projeksiyonunun belirlenmesine olumsuz etki yapmaktadır. Örneğin 2011-2013 yılları arasında varil fiyatı 100 doların üzerinde olan ham petrolün son yıllarda 40 doların altına gerilemesi bu çalışmaların gözden geçirilmesine neden olmuştur. Ticari olarak üretilen yakıtın ucuz ve petrol ile rekabet edebilecek düzeyde fiyatlandırmasının olması gerekmektedir. Alternatif yakıtın fiyatının belirlenmesinde farklı hammadde maliyetleri, farklı üretim teknolojileri olması nedeniyle maliyetin değişmesine yol açmaktadır. Aynı durum petrol içinde geçerli olmaktadır. Dünyanın bir bölgesinde petrolün varil fiyatı diğer bölgesine göre farklılık göstermektedir.

Bu nedenle hammaddenin ucuz ve çevreye duyarlı kaynaklardan elde edilmesi tüm alternatif yakıt geliştirme çalışmaları için en büyük etkidir. Bu kapsamda ticari olarak üretimi yapılabilen bu yakıtlar özellikle ABD olmak üzere avrupa ülkelerinde ve Avusturalya, Brezilya, Güney Afrika, Çin, Endonezya ve Japonya'da Airbus, Boeing ve Gulfstream şirketlerinin girişimleri sayesinde ortaklık ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Japonya 2020 yılında yapılacak olan Tokyo olimpiyatlarında ki tüm ticari uçuşların alternatif yakıtlar ile yapılmasını hedeflemektedir. Endonezya ve ABD arasında ise alternatif yakıt geliştirme için ortaklık çalışmaları yapılmaktadır. Buna benzer şekilde Güney Afrika'da RSB standartlarını sağlayabilecek yakıt üretim çalışmaları yapılmaktadır. Avrupa bünyesinde ise solar-jet projesi uygulanmaktadır [26]. Ayrıca bu ülkeler sürdürülebilir jet yakıtı kullanılması kapsamında Tablo 2'de görüldüğü gibi biyoyakıt karışım hedefi koymuşlardır. Bu hedefleri gerçekleştirmek için potansiyel ve üretim planlamaları yapılarak birçok test yapılmıştır.

Tablo 2: Ükelere göre sürdürülebilir jet yakıtı kullanım hedefleri (IATA, 2015)

Ülke/Bölge	Organizatör	Karışım hedefi	Gerçekleştirme yılı
Dünya	Boeing	%1	2016
ABD	FAA	%5	2018
Avrupa Birliği	EC	%3-%4	2020
Avustralya	AISAF	%50	2050
Almanya	Aireg	%10	2025
Hollanda	Bioport Holland	%1	2015
İsrail	FCI	%20	2025
Endonezya	Devlet	%2	2016
Kuzey ülkeleri	NISA	%3-%4	2020

2.3. Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Etkisi

Havacılık sektöründe alternatif yakıt üretimi henüz genç bir sektördür. Alternatif jet yakıtları farklı bir yakıt değildir sadece yakıt özellikleri bakımından uçuş ve iklim koşullarına dayanıklı olmalıdır. Özellikle sera gazı etkisini azaltan yanma sonu ürünlerine sahip bir kimyasal yapıdadır. Aynı hammaddeden karayolu ve havayolu taşıtları için yakıt üretilebilir. 2011 yılından beri 22 havayolu şirketi yaklaşık 2000 ticari uçuşta bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyoyakıtları kullanmıştır (IATA, 2015; IATA, 2016).

Tablo 3: 2008-2013 yılları arasında alternatif yakıt kullanan havayolu şirketleri ve yakıt türleri (IATA, 2016).

Yıl	Havayolu şirketi	Kullanılan hammadde/Yakıt
2008	Airbus Virgin Atlantic Air New Zeland	Babassu Hindistan cevizi yağı
2009	Continental Airlines JAL KLM Qatar	Jatropha Algae Camelina GTL
2010	United Airlines TAM Airlines	GTL Jatropha Algae
2011	Interjet Honeywell Boeing Air China	Jatropha Algae Camelina
2012	ANA Airlines Azul Airlines	Atık yağ Şeker kamışı Katalitik hidrotermoliz
2013	China Eastren	Atık yağ (gutter oil)

Aynı zamanda IATA tarafından yapılan bir çalışmada [27], 2008-2013 yılları arasında alternatif yakıt denemelerini yapan havayolu şirketleri ve kullandıkları yakıt türleri Tablo 3'te görülmektedir. Ancak bu yakıtların kullanılacağı havayolu şirketlerinin sayısının artması için üretim miktarı ve maliyetin düşürülmesi gerekmektedir ve sosyal, çevresel, ekonomik ve

teknolojik açıdan sürdürülebilir olmalıdır. Yakıt üretiminde kullanılacak hammaddenin de yenmeyen nitelikte olması sürdürülebilirliğin besin zinciri üzerindeki olumsuzluk yaratmamasını sağlayacaktır. Bu nedenle etkili kaynak kullanımı için ortaklıklar kurulmalı ve yatırımlar yapılmalıdır.

Çevresel döngü açısından değerlendirildiğinde alternatif yakıtların kullanılmasıyla birlikte sera gazı oluşumu etkisinin %85'e kadar azaltılacağı ve sülfür içeriğinin olmaması da insan sağlığı açısından zararlı olan kirleticilerinde azalmasını sağlayacaktır. Emisyon karşılaştırmalarında araçların aynı mesafeyi almalarında tükettikleri yakıt miktarına bağlı olarak atmosfere yaydıkları CO₂ emisyonları karşılaştırılmaktadır. Orta mesafeli bir uçuşta %71 CO₂, %28 su buharı ve %1'den az oranda da CO, hidrokarbon (HC), azot oksitler (NO_x), sülfür oksitler (SO_x) ve partikül madde (PM) açığa çıkmaktadır. Buna göre, uzun ve kısa mesafeli uçuşlarda alınan mesafenin 4 kişilik bir otomobil ile alınması durumunda daha az CO₂ salınımı olmaktadır (SWAFEA, 2011). Yolcu sayısı ve alınan mesafeye bağlı olarak bu miktara artış göstermektedir. Ayrıca yüksek irtifalarda atmosfere karışan zararlı gazların çevreye etkisi daha fazladır. Bu noktada havacılık sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonunun azaltılması için bu yakıtların kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Diğer kirletici emisyonlar olan NO_x, CO ve HC açısından karşılaştırma yapıldığında ise alternatif yakıt kullanıldığında Jet A yakıtına göre daha düşük seviyelerde emisyon elde edilmektedir (Yılmaz vd., 2012; Sorokin vd., 2004). ICAO ve IATA belirlediği hedefinde hava taşıtlarından kaynaklı 2005 yılı CO₂ seviyesinin 2050 yılına kadar %50 oranında azaltmayı belirtmiştir (SWAFEA, 2011; TUIK, 2011). Bu amacı gerçekleştirmek için yapılan düzenlemeler ile EU-RED, US-RFS ve ASTM tarafından onaylanan 15 adet havacılıkta kullanılabilecek biyoyakıt üretim yöntemi ve standartları bulunmaktadır ve bu yöntemlerin sayısının artmasıyla çevresel korunumun sağlanması için biyoyakıt kullanımı gelişecektir.

3. SONUÇ

Alternatif yakıt üretimi için yeni endüstrilerin kurulması hem zaman hem de büyük çaba gerektirmektedir. Karayolu taşıtlarında kullanılan alternatif yakıtların hammaddesi havayolu taşıtları için geliştirilecek alternatif yakıtlar içinde uygundur. Yakıt özelliklerinin hava taşıtının motor çalışma koşuluna ve yakıtı depolama şartlarına, çevre ve uçuş güvenliğine uygun olması için yeni bir endüstrinin kurulması önemlidir. Hammadde üretimi ve bu üretimden elde edilen kaynağın biyoyakıtı dönüştürülerek kısa sürede karışım şeklinde kullanılabilmesi biyoyakıt endüstrisinin temel amacı olmalıdır (Şekil 6).



Şekil 6: Hammadde-biyoyakıt-tüketim zinciri

Bu sürece gelinene kadar yapılan çalışmalar alternatif yakıtların hava taşıtlarında güvenle kullanılabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda, üretim maliyeti açısından petrol fiyatlarına göre karşılaşılan ekonomik durgunluğa rağmen bu çalışmaların ve üretilen yakıtların kullanılması yavaşlamamalıdır. IATA ve ICAO gibi büyük kuruluşlar, havayolu şirketlerini ve uçak firmalarını bir araya getirerek kurulacak ortaklıklarla ticari uçuşlarda CO₂ salınımının azaltılmasına yönelik alternatif yakıt kullanımı için gerekli önlemlerin alınmasını sağlamalıdır. Bu motivasyonla, çalışmanın sonucunda havacılık sektöründeki uzun vadede yapılacak alternatif yakıt geliştirme çalışmalarına yönelik bazı öneriler sıralanmıştır;

-Ekonomik ve sosyal fayda sağlamak amacıyla alternatif yakıt üretimi ve kullanımı için yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

-Çevre döngüsünde sera gazı oluşumunun azaltılmasına katkı sağlamalıdır bu nedenle hammadde üretiminde toprak ve su kaynaklarının korunması için kimyasal kullanılmamalıdır.

-Gıda olarak kullanılmayan hammaddelerin alternatif yakıt üretiminde kullanılmasıyla gıda güvenliği sağlanmalıdır.

-Üretim teknolojilerinin geliştirilmesinde üretilecek yakıtın yaygın kullanıma sahip olması hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

- Daggett D., Hadaller, O., Hendricks,R., Walther,R., "Alternative fuels and their potential impact on aviation", NASA/TM-2006-214365.
- Daggett D., Hendricks,R., Walther,R., Corporan E., "Alternate Fuels for use in Commercial Aircraft", Boeing, 2007.
- Demirbaş A., Green energy and technology biofuels, London: Springer Verlag, 1-4, (2009).
- Demirbaş, A., Biodiesel, A realistic fuel alternative for diesel engines, London: Springer-Verlag, 65-92, (2008).
- Drapcho, C. M., Nhuan, N., P. and Walker, T., H., Biofuels engineering process technology, New York: Mc Graw Hill, 69-94, (2008).
- Dudley B., "Statistical review world of energy, BP", 6-19, (2012).
- EIA, "Annual energy outlook 2012 with projections to 2035", 17-63, (2012).
- EPDK, "Enerji yatırımcısı el kitabı", 45-52, (2012).
- EPDK, "Petrol piyasası sektör raporu", 1-11, (2012).
- World Energy Council, "Enerji raporu", 43-50, (2011).

Hileman J.I., Wong H.M., Ortiz D., Brown N., Maurice L., Rumizen M., "The feasibility and potential environmental benefits of alternative fuels for commercial aviation" 26th International congress of the aeronautical sciences, ICAS 2008.

IATA Guidance Material for Sustainable Aviation Fuel Management, 2 th edition 2015, Montreal, Geneva.

IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap, 2 th edition 2015, Montreal, Geneva.

IEA, "Key world energy statistics", 6-11, (2012).

IEA, "CO₂ emission from fuel combustion", 37-39, (2012).

Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S. and Mingdong, D., "Opportunities and challenges for biodiesel fuel", Applied Energy, 88, 1020-1031, (2011). IATA 2015 Report on Alternative Fuels, 10 th edition December 2015, Montreal, Geneva.

Nigam, P. S. and Singh, A., "Production of liquid biofuels from renewable resources-Review", Progress in Energy and Combustion Science, 37, 52-68, (2011).

OPEC, "World oil outlook", 25-62, (2012).

PETDER, "Petrol sektör raporu Ocak-Haziran", 3-6, (2012).

Ramadhass, A.S., Jayaraj, S. and C. Muraleedharan, "Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review", Renewable Energy, 29, 727-742, (2004).

REN21, "Renewables 2012 global status report",31-3, (2012).

Sidibe, S.S., Blin, J., Vaitilingom, G. and Azoumah Y., "Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2748-2759, (2010).

Sorokin, A., Arnold, F., "Electrically charged small soot particles in the exhaust of an aircraft gas-turbine engine combustor: comparison of model and experiment", Atmospheric Environment, 38, 2611-2618, (2004).

Srivastava, A. and Prasad, R., "Triglycerides-based diesel fuels", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, 111-133, (2000).

SWAFEA Demonstration Initiative Report, D.9.2., March 2011.

T.C. Resmi Gazete, "Milletlerarası sözleşme", Sayı, 27227, (2009).

TPAO, "Ham petrol ve doğal gaz sektör raporu", 2-6, (2011).

TÜİK, "Motorlu kara taşıtları istatistikleri", 1-4, (2011).

TÜİK, "Ulusal sera gazı emisyon envanteri raporu 1990-2009", 27-29, (2011).

Yılmaz, I., Ilbas, M., "Gaz türbinli uçak motorlarında kirletici emisyonların incelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 27, No 2, 343-351, (2012).