

HAVACILIKTA YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Enis T. Turgut¹, Fatih Tunca², Ömer Yılmaz³, Hikmet Sarıaydın⁴, T. Hikmet Karakoç⁵

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Sivil Havacılık Yüksekokulu, Eskişehir.

etturgut@anadolu.edu.tr ; fatihtun@gmail.com ; omerylmz19@gmail.com ;
hikmet.sariaydin@gmail.com ; hkarakoc@anadolu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada sürdürülebilirlik kavramının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının havacılık endüstrisindeki olumlu ve olumsuz etkileri incelenmiştir. Literatürdeki hidrojen ve diğer alternatif yakıt üretim tekniklerinin maliyetlerine göre yakıt türleri arasında \$/kg cinsinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Hidrojenin günümüzde havacılıkta kullanımının gerek depolama, gerekse de ekonomik olarak üretiminin zorluğundan alternatif yakıt olarak daha çok biyodizel üzerinde durulmuştur. Biyodizelin %10, %25 ve %50 oranlarında kerosenle birlikte kullanılmasıyla Paris ve İstanbul Havaalanları 2008 yılı Ekim ayı içerisindeki bir gün için toplam kalkış ve iniş sayıları göz önüne alınarak maliyet değişimleri hesaplanmıştır. Buna göre maliyet anlamında en yüksek kazanç biyodizel-p'nin %50 oranında kerosene karıştırılmasıyla 10.3 M\$ şeklinde bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Havacılık, Kerosen, Alternatif yakıtlar, Sürdürülebilirlik*

ABSTRACT

In this study the positive and the negative effects of the sustainability concept and the renewable energy sources in the aviation industry are analyzed. Investigating the fuel cost of the kerosene, hydrogen and the other alternative fuels at the literature, it is performed a comparison between these fuel types based on \$/kg. However, the biofuels are mainly highlighted due to the storage and production challenges of the hydrogen fuels in aviation. Considering the total landing and take-off numbers in a day at september 2008 at the airports of Istanbul and Paris, the cost variations are calculated by mixing the biofuels and the kerosene with the ratios of 10%, 25% and 50%. In conclusion, the most saving is obtained by using biofuel-p with the mixing ratio of 50% as 10.3 M\$.

Key words: *Aviation, Kerosene, Alternative fuels, Sustainability*

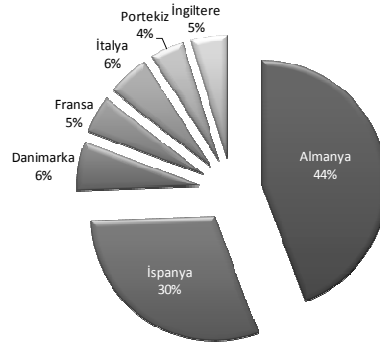
1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, yeşil enerji, çevre ve sürdürülebilirlik kavramları artık gün geçtikçe daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle petrolün varil fiyatının 120\$-140\$ aralığında bulunduğu bu dönemlerde, ulaşımdan inşaat, pek çok sektör artık mevcut kaynakları en iyi

şekilde yönetmek, mümkünse tekrar tekrar kullanmak ve hem bu tekrar kullanım sürecinde, hem de sürecin sonunda çevreye en az oranda zarar vermek üzere sürekli yenilikler ve ilerlemeler kaydetmektedirler. Sürdürülebilirlik, biyolojik olarak çözülebilen kullanım eşyalarından doğada çok kısa zamanda çözülebilen ve plastiğin yerini alabilecek yeni maddelerin üretimine, bir kişilik elektrikli arabalardan rüzgar ve güneş enerjisi üretimine olmak üzere birçok alana nüfus etmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi günümüzde halen klasik enerji kaynaklarına göre ciddi anlamda pahalıdır. Ancak aradaki bu fark hem petrol fiyatlarındaki artış, hem de teknolojik ilerlemeler sayesinde her geçen gün azalmaktadır. Buna rağmen, artık enerji kaynaklarına eskiden olduğu kadar kolay ve ucuza sahip olunamayış, sosyal yaşamda da bu kaynakların mümkün olan en yüksek verimde kullanılması gerekliliğini göstermiştir.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok kullanılan iki tanesi rüzgar ve güneş enerjisidir. Özellikle rüzgar alanında Avrupa Birliği ülkeleri büyük bir mesafe katetmişlerdir. Bu durum Şekil 1'de gösterilmektedir.



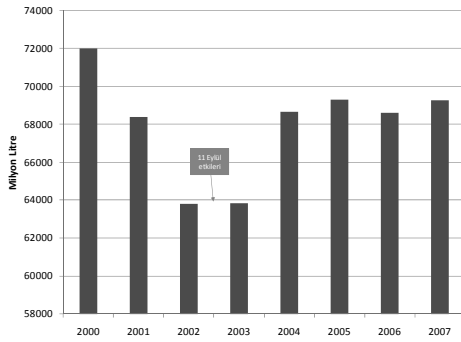
Şekil 1. 2007 yılı itibarıyla bazı Avrupa ülkelerinin sahip oldukları rüzgar enerjisi kurulu güçlerinin Avrupa genelindeki dağılımları [1]

2002 yılında, 2010'a kadar 75,000 MW ve 2020'ye kadar da 180,000 MW kurulu güç tesis etmeyi hedefleyen AB ülkeleri, henüz sadece 2007 yılında 57,000 MW kurulu güç değerine ulaşmışlardır. Özellikle rüzgar enerjisi anlamında konulan hedeflere öngörülen zamanlardan daha önce ulaşılmakta ve bu nedenle hedefler sürekli olarak yükseltilmektedir. AB ülkeleri arasında Almanya, 22,247 MW ile sadece AB içinde değil, dünyada en yüksek rüzgar enerjisi üretimine sahip ülke olurken, Almanya'yı 15,145 MW ile İspanya ve 3125 MW ile Danimarka

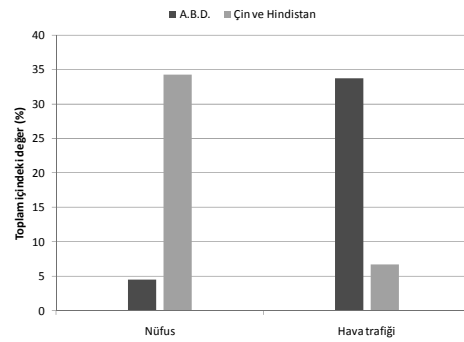
izlemektedir. Aynı yıl itibariyle kurulu gücü 16,904 MW olan ABD'de ise bir önceki yıla göre 2007 yılında %68.4'lük bir artış meydana gelmiştir.

Her yıl %4.8 oranında bir büyüme gösteren havayolu taşımacılığının dünya enerji tüketimindeki payı %2.5-5 arasındadır. Bu anlamda 2007 yılı itibariyle 19,000 olan jet uçak sayısının 2027 yılında 35,800'e çıkacağı tahmin edilmektedir [2]. Bununla birlikte yakıt fiyatlarına bakıldığında ise, 2000 yılında A.B.D.'de kerosenin litre fiyatı, 0.211 \$'dan 2007 yılında 0.552 \$'a yükselmiştir. Bu da 2007'de A.B.D. sivil havacılığında yaklaşık 38 milyar dolarlık bir maliyete karşılık gelmektedir [3]. Şekil 2'de yakıt tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Yakıt fiyatlarındaki artışa rağmen havacılık alanında oldukça büyük bir potansiyel söz konusudur. Şekil 3'te görüldüğü üzere, 2005 yılı rakamlarına göre dünya nüfusunun % 4.5'ine sahip Amerika'nın hava trafik kapasitesi % 33.7 iken, toplam nüfusun % 34.2'sine sahip Çin ve Hindistan'ın hava trafik kapasitesi, toplamın sadece % 6.7'sine karşılık gelmektedir [4, 5].



Şekil 2. A.B.D. sivil hava taşımacılığındaki yakıt tüketiminin yıllara göre değişimi [3, 5]



Şekil 3. A.B.D. ile Çin ve Hindistan'ın nüfus ve hava trafiği karşılaştırması.

2. HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Yapılan Çalışmalar

Son yıllara kadar havacılıkta alternatif enerji, sadece hidrojen enerjisi ile ilişkilendirilmekteydi. İlk kez 1956'da bir B-57 bombardıman uçağının motorlarından biri hidrojenle çalışacak şekilde modifiye edilip başarıyla denenmiştir. Daha sonra 1988'de, Tu-154'ün modifiye edilmiş hali olan Tu-155 uçağı ile denemeler yapılmıştır. Üç motorlu bir yolcu

uçacağı olan Tu-155'in yine motorlarından bir tanesi sıvı hidrojenle çalıştırılmış, gövdenin belirli bölümleri sıvı hidrojen için yakıt depoları ile donatılmıştır. Bu denemelerin her ikisi de, birden fazla motorlu uçaklarda sadece tek bir motorun hidrojenle çalıştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Diğer bir örnek deneme ise, yine 1988 yılında tek motorlu Grumman Cheetah'ın piston motoru hidrojenle çalışabilecek şekilde küçük modifiyeler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çok kısa sürmesine rağmen bu deneme, bir uçağın yalnızca hidrojen yakıtı kullanılarak uçuşu gerçekleştirilen ilk deneme olması bakımından önemlidir. Daha sonra 2000 yılında Alman-Rus ortak projesi Cryoplane başlatılmış ve bir A-310 uçağının sıvı hidrojenle çalıştırılması üzerine araştırmalar yapılmıştır.

2005 yılında sıvı hidrojenle çalışması öngörülen ilk insansız hava aracı "Global Observer" test edilmeye başlanmıştır. 2008 nisan ayında ise Boeing, motorlu bir planörü (Dimona) yakıt pili ile deneyerek ilk insanlı hidrojenle çalışan uçağı test etmiştir (Şekil 4). Aynı yıl, bir A320 uçağında, aileron, rudder ve diğer bazı uçuş kumanda sistemlerini çalıştıran mavi hidrolik sisteme ait bir elektrik motoru yakıt pilinden sağlanan 20 kW güç ile başarıyla denenmiştir [6].



Şekil 4. İlk insanlı hidrojen yakıtlı uçuş testi [7]

Yukarıda da söz edildiği üzere son zamanlarda havacılık alanında alternatif enerji anlamında hidrojenle birlikte biodizel denemeleri de yapılmaya başlanmıştır. Henüz tamamen biodizel yakıtının kullanılması söz konusu olmasa da çeşitli oranlarda kerosenle birlikte karıştırılarak yapılan birçok uçuş denemesi başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır.

2007 yılında ABD Hava Kuvvetleri, 8 motorlu bir B-52 bombardıman uçağında yakıtta %50 oranında syngaz karıştırarak bir uçuş gerçekleştirmiştir. Aynı yıl içerisinde bu deneme iki motorlu bir C-17 uçağında da yapılmıştır. Petrolün varil fiyatında meydana gelen her 10\$'lık artışın yıllık 600 M\$'lık maliyet getirdiği ABD Hava Kuvvetleri, 2011 yılına kadar filodaki tüm uçakların %50 oranında syngaz kullanmasını hedeflemektedir [8]. Bu bağlamda ağustos 2008'de

bir F-15 savaş uçağı JP8'e %50 oranında karıştırılmış doğal gaz bazlı sentetik bir yakıtla başarılı bir şekilde uçurulmuştur [9].

Syngaz'ın enerji yoğunluğu kerosenden daha düşük olduğu için daha fazla yakıt gerekeceğı bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır ancak kerosenden daha ucuz ve özellikle daha temiz bir yakıt olması bu dezavantajı büyük oranda ortadan kaldırmaktadır.

2008 yılında Virgin Havayolları'na ait dört motorlu bir B-747 uçağının bir motoru %20 oranında biyoyakıt kullanarak yaklaşık 320 km mesafeyi 7620 m (25000 ft) irtifada 40 dakikada uçarak başarılı bir uçuş gerçekleştirmiştir [10]. Diğer havayollarının başka uçak tipleri üzerine benzer çalışmaları bulunmaktadır. Bunlar arasında en dikkat çekici olanı, henüz çok yeni bir uçak olan Airbus A380'nin 2008 yılı içerisinde İngiltere-Fransa arasını, motorlarından birinde %40 oranında syngaz kullanarak uçmasıdır. Bu uçuş 3 saat sürmüş ve yaklaşık 11 ton yakıt kullanılmıştır [8].

Bütün bu örneklerden daha farklı olanı, %100 biyoyakıt ile uçan ve sıcaklığın -4°C olduğu 5182 m (17000 ft) irtifaya çıkan L-29 uçuşudur. Bu uçuş 2007 yılında gerçekleştirilmiştir [11].

Yukarıdaki örneklerden de anlaşılacağı üzere, özellikle son bir kaç yıl içerisinde havacılıkta alternatif yakıt olarak biyoyakıt kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bununla birlikte, her ne kadar biyoyakıtların kerosenden daha ucuz ve daha temiz olmaları önemli bir avantaj olarak kabul edilse de, biyoyakıtların kullanılması ile CO₂ emisyonu önlenememektedir.

3. UYGULAMA

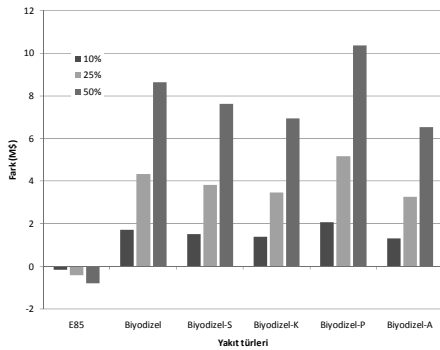
Bu bölümde kerosene belirli oranlarda syngaz/biyodizel yakıtının karıştırılmasının çevresel ve ekonomik anlamdaki etkileri incelenmiştir. Biyodizel yakıt türleri arasında ayçiçek, soya, kolza ve palmye etkileri araştırılmıştır. Buna göre İstanbul Atatürk ile Paris Charles de Gaulle olmak üzere iki havaalanı göz önüne alınmıştır. Bu havaalanlarının 2008 Ekim ayı içerisinde bir günlük kalkış ve iniş sayıları toplamları sırasıyla 661 ile 1419 olarak hesaplanmıştır [12,13]. Ortalama değerler elde edebilmek için bu çalışmada Paris merkezli 20 farklı uçuş rotası için toplanan verilerden yararlanılmıştır. Bu veriler arasında menzil, yolcu başına toplam yakıt tüketimi ve CO₂ üretimi, uçak tipi ile uçuş süreleri yer almaktadır. Bu değerlerin ortalamaları alındığında ve ortalama yolcu sayısının 150 olduğu kabul edildiğinde, İstanbul ve Paris havaalanlarına kalkış ve iniş yapan uçaklar için bir günlük harcanan yakıt ve üretilen CO₂

miktarları sırasıyla 13.5 ML ve 29.0 ML kerosen ile 33,711 t ile 72,369 t CO₂ şeklinde bulunmaktadır.

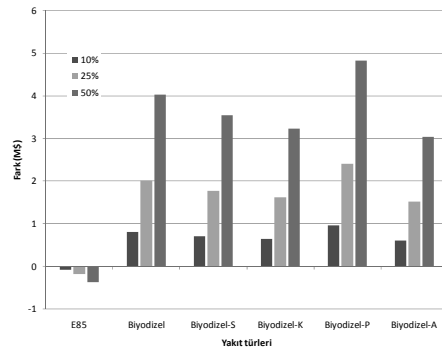
4. BULGULAR

Şekil 5'de Paris Charles de Gaulle havaalanında 19 Ekim 2008 tarihinde kalkış ve iniş yapan uçakların yakıt tüketimlerinin ekonomik maliyetleri gösterilmektedir. Kerosene değişik oranlarda alternatif yakıt karıştırılarak elde edilen sonuçlara ve 2008 eylül yakıt fiyatlarına göre maliyetlerde en yüksek düşüş biyodizel-P ile %10, %25 ve %50 karıştırma oranlarına göre sırasıyla 2.1, 5.2 ve 10.3 M\$ şeklinde elde edilmiştir. Geri kalan yakıt türlerinde yine aynı karıştırma oranları için yaklaşık 1.3-1.7 M\$, 3.3-4.3 M\$ ve 6.5-8.6 M\$ şeklinde kazançlar hesaplanmıştır. Bununla birlikte özellikle Brezilya, İsveç ve A.B.D.'de kendisine hızla kullanım alanı yaratan E85 yakıtı için aynı karıştırma oranlarındaki maliyetlerde 0.2-0.8 M\$ arasında artışlar görülmektedir. Biodizel fiyatları [14,15] kaynaklarından alınmıştır.

Farklı yakıt türleri ile kerosenin yukarıda söz edilen oranlarda karıştırılması ile yakıt maliyetlerinde elde edilecek kazanç İstanbul Atatürk havaalanı için Şekil 6'da gösterilmektedir. Buna göre maliyetlerde en yüksek düşüş beklenildiği üzere biyodizel-P ile elde edilmiştir. %10, %25 ve %50 oranlarına göre maliyet düşüşleri sırasıyla 1.0, 2.4 ve 4.8 M\$ şeklinde bulunmuştur. E85'in kullanılmasıyla meydana gelecek olan maliyet artışı ise aynı oranlar için 0.1, 0.2 ve 0.4 M\$ olarak hesaplanmıştır.

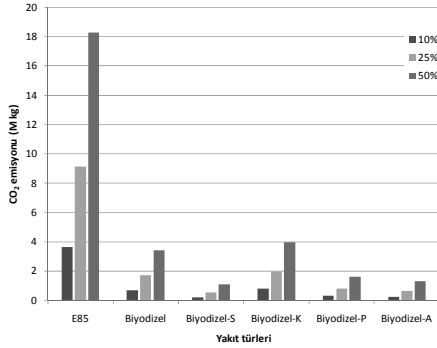


Şekil 5. Kerosen ve diğer alternatif yakıtların belirli oranlarda (%10, %25 ve %50) karıştırılması ile Paris Charles de Gaulle havaalanında 2008 yılı için yakıt maliyetlerindeki değişim.

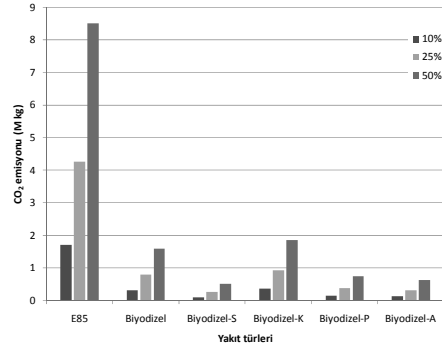


Şekil 6. Kerosen ve diğer alternatif yakıtların belirli oranlarda (%10, %25 ve %50) karıştırılması ile İstanbul Atatürk havaalanında 2008 yılı için yakıt maliyetlerindeki değişim.

Bu çalışmada kerosene biodizel karıştırma işlemi CO₂ emisyonları açısından da değerlendirilmiştir. Biodizel yakıtların kimyasal formülleri [16,17] numaralı kaynaklardan alınmıştır. Yakıtın üzerinde yapılan karıştırma işlemi ile meydana gelen CO₂ artışları Şekil 7 ve 8'de Paris ve İstanbul havaalanları için gösterilmektedir. Buna göre Paris havaalanı için CO₂'deki bir günlük en yüksek artış, E85'in %10, %25 ve %50 karıştırma oranları için



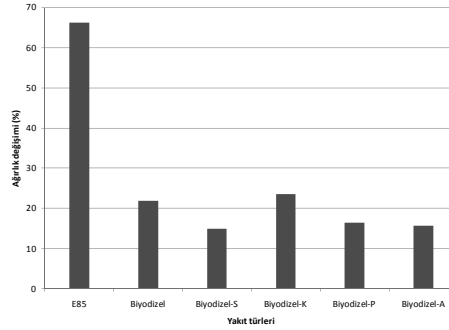
Şekil 7. Kerosen ve diğer alternatif yakıtların belirli oranlarda (%10, %25 ve %50) karıştırılması ile Paris Charles de Gaulle havaalanında 2008 yılı için CO₂ emisyonlarındaki artış.



Şekil 8. Kerosen ve diğer alternatif yakıtların belirli oranlarda (%10, %25 ve %50) karıştırılması ile İstanbul Atatürk havaalanında 2008 yılı için CO₂ emisyonlarındaki artış.

sırasıyla 3700 t, 9200 t ve 18300 t olarak bulunmaktadır. Aynı yakıt, aynı karışım oranları için İstanbul havaalanında ise 1700 t, 4260 t ve 8520 t CO₂ artışına neden olmaktadır. Diğer taraftan CO₂'de en az artış, diğer yakıtlara göre daha pahalı olan biodizel-s ve biodizel-a ile elde edilmektedir. Bu anlamda en az artışlar, Paris ve İstanbul havaalanları ve aynı karışım oranları için sırasıyla 200 t, 600 t, 1100 t ile 100 t, 260 t ve 520 t şeklinde hesaplanmıştır.

Alternatif yakıtların ısıl değerlerinin kerosenden daha düşük olması nedeniyle aynı toplam ısıl değer için daha yüksek ağırlıkta yakıt kullanılması gerektiği göz önüne alınmalıdır. Bu farklar Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Aynı toplam ısı değer için kerosen yerine diğer yakıt türlerinin kullanılmasıyla meydana gelen ağırlık artışı

5. SONUÇ

Petrol ve petrol bazlı yakıtların tükenme riski ve her geçen gün maliyetlerinde meydana gelen artış, diğer sanayi alanlarında olduğu gibi havacılık alanında da alternatif yakıtların kullanımını gündeme getirmiştir. Bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Teknolojik gelişimin tamamlanmasının ardından gelecekte hidrojenin petrol kaynaklı yakıtların yerine kullanılacağı ve hem ekonomik hem de çevresel anlamda petrol kaynaklı yakıtlardan çok daha avantajlı olacağına yönelik gittikçe artan bir eğilim hissedilmektedir. Bununla birlikte bu durumun gerçekleşmesi şu anki teknoloji seviyesinde mümkün görünmemektedir. Ayrıca petrol kaynaklı yakıtlar konusundaki problemler gittikçe ağırlaşırken hidrojen konusunda hızlı bir ilerleme sağlandığından söz etmek zordur. Bu nedenle, aradaki boşluğun kapanması ve bir çeşit geçiş safhası oluşturulması adına hidrojenden önce yakıt olarak belirli bir süre biyodizel kullanımı, hem ekonomik hem de çevresel maliyetler anlamında avantajlı görünmektedir. Her ne kadar biyodizel karışımı CO₂ emisyonunda bir artışa neden olsa da, üretilen bu CO₂ döngü çerçevesinde bakılacak olduğunda biyodizel üretimi safhasında bitkiler tarafından yeniden emilmektedir. Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuca göre sadece iki havaalanının 1 günlük uçuşları boyutundaki bu analiz, milyon dolar seviyelerinde yakıt ekonomisi sağlama potansiyeli olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın sunulmasında vermiş olduğu katkıdan dolayı Anadolu Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/mailing/windmap-08g.pdf – Giriş: Ağustos 2008
2. Current Market Outlook 2008-20027: <http://www.boeing.com/commercial/cmo/index.html>- Giriş: Ağustos 2008
3. www.bts.gov – Giriş: Ağustos 2008
4. www.icao.int – Giriş: Ağustos 2008
5. www.airliners.org – Giriş: Ağustos 2008
6. http://www.airbus.com/en/presscentre/pressreleases/pressreleases_items/08_05_26_a320_fuel_cell.html - Giriş: Ağustos 2008
7. <http://media.popularmechanics.com/images/boeing-fuel-cell-plane-630.jpg> – Giriş: Eylül 2008
8. Marsh G., Biodiesel: Aviation alternative, Refocus, Volume 9, Issue 4, July-August 2008, Pages 48-51.
9. <http://gas2.org/2008/08/21/f-15-flies-on-alternative-jet-engine-fuel/> Giriş: Ekim 2008
10. <http://www.sciam.com/article.cfm?id=jumbo-jet-no-longer-biofuel-virgin-after-palm-oil-flight> – Giriş: Ağustos 2008
11. <http://www.gizmag.com/go/8204/> – Giriş: Eylül 2008
12. <http://www.ataturkairport.com/index.php> – Giriş: Eylül 2008
13. <http://www.flightstats.com> – Giriş: Eylül 2008
14. <http://www.e85prices.com/> Giriş: Ekim 2008
15. Gui M.M., Lee K.T., Bhatia S., Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. Energy Vol. 33, (11) (2008) 1646-1653.
16. Akıncı B., Kassebaum P.G., Fitch J.V., Thompson R.W., The role of bio-fuels in satisfying US transportation fuel demands, Energy Policy 36 (2008) 3485– 3491
17. Taşyürek M., “İçten Yanmalı Motorlarda Biyomotorin Yakıtlarının Geleneksel Yakıtlarla Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması“, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., 2004.

