



SİVİL HAVACILIKTA ELEKTRİKLİ YER HİZMETLERİ TEÇHİZATI KULLANIMI FAYDALAR, KISITLAR VE ÖNERİLER

Melih YILDIZ^{1*}, Savaş MUTLU²

¹ Atılım Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Ankara, Türkiye

² Atılım Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Yönetimi Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sürdürülebilir Havacılık,
Yer Hizmetleri Teçhizatı,
Emisyon,
Elektrikli Yer Hizmetleri
Teçhizatı.*

Öz

Havacılık sektörü, her yıl gösterdiği yüksek büyüme oranları yanı sıra, çevre ve sağlık sorunlarına neden olan emisyonları azaltmak ve akaryakıt ile işletme maliyelerini düşürmek için gayret göstermektedir. Bu çabaların ortak paydasında bulunan tahrik sistemlerinde elektrik enerjisi kullanımını giderek ilgi çekmektedir. Bir yandan da yetkili otoritelerin elektrikli araç kullanımı konusundaki yaklaşımı sonucu, havacılık ekosisteminin önemli unsurlarından biri olan yer hizmetlerinde kullanılan teçhizatın da elektrikli alternatifleri gündeme gelmiştir. Bu araştırmada, yer hizmetlerinde kullanılan teçhizatın elektrikli olmasındaki faydalar ile birlikte söz konusu teçhizatın kısıtları ve konu hakkındaki öneriler ortaya konulmuştur. Araştırma nitel olarak gerçekleştirilmiş ve ikincil verilerden faydalanılmıştır. Araştırmada dünyada bu alanda yapılmış uygulama çalışmalarından elde edilen deneyim ve modelleme çalışmaları sonuçları analiz edilmiş, bu alandaki genel eğilim ortaya konulmuştur. Ülkemizde önde gelen firmalardan birisinin mevcut elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanım oranları değerlendirilmiştir. Ülkemiz elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanımının incelenen ülkeler ortalamasında olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda elektrikli yer hizmetleri teçhizatının yaygınlaşması için gerekli şartlar belirlenmiş ve öneriler oluşturulmuştur.

ELECTRIC GROUND SUPPORT EQUIPMENT USE IN CIVIL AVIATION: ADVANTAGES, LIMITATIONS AND RECOMMENDATIONS

Keywords

*Sustainable Aviation,
Ground Support Equipment,
Emission,
Electric Ground Support
Equipment.*

Abstract

In addition to its high growth rates, the aviation sector strives to reduce emissions that cause environmental and health problems and reduce fuel and operating costs. The use of electrical energy in the propulsion systems in the common denominator of these efforts is increasingly interesting. On the other hand, as a result of the approach of the authorities in the use of electric vehicles, electric alternatives of ground handling equipment, which is one of the important elements of the aviation ecosystem, have come into the agenda. In this research, the benefits of electrical equipment used in ground services, along with the limitations and suggestions on the subject have been put forward. The research was conducted qualitatively and secondary data were used. In the study, the results of the experience and modeling studies obtained from the application studies in this field have been analyzed and the general trend in this field has been put forward. Current electric ground handling equipment utilization rates of one of the leading companies in our country have been evaluated. It is seen that the use of electrical ground services equipment in Turkey is at the average of the countries examined. As a result of the study, necessary conditions have been determined and recommendations have been established for the widespread use of electrical ground services equipment.

Alıntı / Cite

Yildiz, M., Mutlu, S., (2020). Sivil Havacılıkta Elektrikli Yer Hizmetleri Teçhizatı Kullanımı: Faydalar, Kısıtlar ve Öneriler, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 314-325.

* İlgili yazar / Corresponding author: melih.yildiz@atilim.edu.tr, +90-312-586-8885

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Yıldız, 0000-0002-7546-4462	Başvuru Tarihi / Submission Date	27.11.2018
S. Mutlu, 0000-0003-1271-8573	Revizyon Tarihi / Revision Date	28.02.2019
	Kabul Tarihi / Accepted Date	31.07.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	20.03.2020

1. Giriş (Introduction)

Havacılık günümüzde hızla gelişmektedir. IATA verilerine göre 2017 yılında dünyada 4.1 milyar yolcu taşınmıştır. Bu rakam bir önceki yıla göre ortalama yaklaşık %7 lik artış anlamına gelmektedir (IATA, 2017). Yolcu sayılarındaki bu artış havacılığın ekonomik açıdan getirileri yönünden olumludur. Bu yolcu trafiği havacılık faaliyetlerindeki artış ile karşılanabilmektedir. Ancak, havacılığın aynı zamanda gürültü, hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği ve iklim üzerinde etkileri bulunduğu da gözden uzak tutulmamalıdır (Marais & Waitz, 2009). Artan havacılık etkinliği ile birlikte, havacılığın bu olumsuz etkileri de artış göstermektedir.

Günümüzde fosil yakıtların artan fiyatları havacılık üzerinde maliyet baskısı oluşturmaktadır. Çağımızın güncel küresel ısınma sorunu ve fosil yakıtların maliyet artışı birlikte ele alındığında, havayolu ve havaalanı işletmecileri maliyetlerini ve sera gazı yayılımlarını azaltma yönünde tedbirler almaktadırlar (Ştimac, Vince, Jakšić, & El, 2013). Bu durumda hem ekonomik, hem de çevresel açıdan havacılıkta daha az fosil yakıt kullanımının temel bir çözüm olacağı görülmektedir.

Havacılık sektörü denildiğinde göz önüne öncelikle uçak filoları gelse de, uçaklar kadar önemli bir diğer filo da havaalanlarında kullanılan yer hizmetleri teçhizatıdır. Bu teçhizat havayolları tarafından "Diğer Filo" olarak da adlandırılmaktadır (Thomas, 2016).

Havaalanlarında kullanılan yer hizmetleri teçhizatı (YHT) çoğunlukla fosil yakıt kullanmaktadır. Ancak genel olarak dünyada fosil yakıt kullanan araçların daha çevreci alternatifleri ile değiştirilmesi eğilimi sonucu olarak bu araçlar da alternatif tahrik sistemleri ile (örneğin elektrikli, yakıt hücreli gibi) üretilmekte veya mevcut olanlar tadilata tabi tutulmaktadır. Ayrıca havaalanlarında şut altı gibi bazı bölgelerde fosil yakıtlı araç kullanımı mevzuat gereği kısıtlanmaktadır (SHGM, 2016).

Bu araştırmada, havacılıkta yer hizmetlerinde kullanılan elektrikli teçhizatın ekonomik, çevresel ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu konuda dünyada yapılan kullanım, modelleme ve hesaplama çalışmaları ile Türkiye'deki durumun ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Havacılıkta Yer Hizmetleri Faaliyetleri ve Önemi (Ground Support and Its Importance in Aviation)

Havaalanı yer hizmetleri "Bir uçağın havaalanına inişinden-kalkışına kadar geçen süre içerisinde uluslararası havacılık kuruluşları ve sivil havacılık yönetmeliğine göre belirlenmiş standartlar çerçevesinde uçağa, yolculara, bagaja ve kargoya sağlanan hizmetler" olarak tanımlanmaktadır (Ateş, 2016).

Havaalanlarında bulunan yer hizmetleri teçhizatı, yerde buldukları sürede uçağa güç sağlama, uçak bakımı, yakıt verme, uçakların veya bagaj/kargo arabalarının çekilmesi, bagaj/kargo yüklenmesi, yolcuların transferi, içilebilir suyun yüklenmesi, atık suyun taşınması, yiyecek-içecek yüklenmesi, buz çözülmesi (de-icing) işlemi ve itfaiyedir (Korul, 2016; NREL, 2017; Tabares & Mora-Camino, 2017; "Zero-Emission Airport Ground Support Equipment", 2018)

Bir uçak uçuşu sürece gelir yaratmaktadır. Bu nedenle havayolu işletmecileri uçakların havaalanlarındaki bekleme sürelerini mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır. Örneğin düşük maliyetli havayollarında bir uçağın geliş ve geri dönüş (turnaround) zamanı 20-25 dakika olarak hedeflenmektedir (Aubin, 2004; Koch, 2010). Bu gereksinim yer hizmetlerinin olabildiğince hızlı ve tam olarak gerçekleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Uçakların yerde kalış zamanlarının azaltılması konusunda en önemli faktörlerden biri, yer hizmetlerinin sağlanma hızıdır. Bu nedenle yer hizmetleri genellikle zamana karşı bir yarış şeklinde gerçekleştirilmektedir. Büyük havaalanlarında bu hız gereksinimi yer hizmetlerini oldukça stresli hale getirebilmektedir (Tabares & Mora-Camino, 2017).

Günümüzde tam hizmet sağlayan havayolları genellikle topla-dağıt (hub & spoke) denilen ve uçuşları bir noktaya toplayıp bu noktadan dağıtan sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem geniş bir başlangıç-varış (origin-destination) ağı oluşturmada, toplama noktaları arasında daha büyük uçakların kullanılması nedeni ile daha düşük bilet fiyatları sağlamaktadır. Ancak sistemin kritik unsurlarından birisi de bagajların aktarma meydanlarında hızla

transfer edilmesi gereksinimidir ve karşılanması da yer hizmetlerinin önemli görevleri arasındadır (Wensveen, 2007).

3. Yer Hizmetleri Teçhizatı (Ground Support Equipment)

Yer hizmetleri faaliyetlerinin birçoğu için özel tasarımı, şekli ve sınırlamaları olan teçhizata gereksinim duyulmaktadır (örneğin geri itme- pushback, bantlı taşıyıcı, yolcu merdivenleri vb) ve bunlar sadece havaalanlarında kullanım için üretilmektedir. Bunlar düşük hız, yüksek tork isteyen görevlere ve park eden uçakların etrafında kısıtlı alanda manevra yapmaya uygun şekilde üretilmektedirler. Havaalanında çeşitli yerlere gitseler de genellikle birkaç belirli bölgede hizmet verirler. Bazı yer hizmetleri teçhizatı ise (örneğin ikram araçları, buz çözücüler, atık su/tuvalet kamyonları gibi) mevcut otomotiv şaseslerini kullanmaktadır (ICAO, 2011; Tabares & Mora-Camino, 2017).

Havayolu iş modeli (düşük maliyetli ve tam hizmet sağlayan) ve uçuş menzili (kısa, orta ve uzun), verilecek yer hizmetlerini ve bu hizmetlerde kullanılacak teçhizat içeriğini etkilemektedir (örneğin düşük maliyetli havayolları için yiyecek-içecek gereksinimi diğerleri kadar olmamaktadır).

Uzun menzilli bir uçuşta kullanılan yer hizmetleri teçhizatı şunlardır (Tabares & Mora-Camino, 2017):

- yolcu binış köprüsü,
- köprüye entegre yer güç birimi ,
- köprüye entegre hava iklimlendirme birimi ,
- yolcu merdivenleri,
- kargo yükleyiciler,
- kayışlı yükleyiciler,
- ikram kamyonları,
- temizlik araçları,
- yakıt/su araçları,
- mobil yer güç birimi,
- mobil hava iklimlendirme birimi,
- mobil motor çalıştırma birimi,
- içme suyu kamyonu,
- tuvalet hizmeti kamyonu,
- çekme traktörü,
- bagaj traktörü,
- konteyner/palet taşıma arabaları (doli),
- Bagaj doli,
- koniler,
- takozlar,
- çeki demirleri (towbars)

En geniş tanımı ile tipik yer hizmetleri teçhizatı ICAO tarafından Tablo.1'de verildiği şekilde listelenmiştir. Tabloda; yer hizmetleri teçhizatının kullanım amacı, tahrik sistemi ve gücü, her bir uçak seferinde kullanım süresi veya mesafesi ile tahrik sistemlerine yönelik yorumlar yer almaktadır.

Tablo.1'den görüldüğü üzere çok farklı maksatlar ile kullanılan değişik yer hizmetleri teçhizatı mevcuttur. Bu yer hizmetleri teçhizatı farklı tahrik sistemlerine, güç değerlerine ve yükleme oranlarına sahip olabilmektedir. Bu teçhizatın bir uçak seferi için kullanım süreleri genellikle bir saatin altındadır.

En yaygın kullanılan altı çeşit yer hizmetleri teçhizatının halen elektrikli seçenekleri de mevcuttur. Bunlar; geri itme araçları (pushback), kayışlı yükleyiciler (belt loader), konteyner yükleyicileri, bagaj çekiciler (tugs), tuvalet ve içme suyu traktörleridir (truck) (NREL, 2017).

Tablo 1. Tipik Yer Hizmetleri Teçhizatı (YHT) (ICAO) (Typical Ground Support Equipments (GSE)(ICAO))

Yer Hizmetleri Teçhizatı	Kullanım Amacı	Motor Tipi/Teçhizat	Bir Seferde Kullanım Süresi	Yorumlar
Yer Güç Birimi	Uçağa elektrik sağlamak	100-150 kW dizel veya benzinli; %15-50 yük	Programa bağlı	Elektrik sistemi kapı/köprüye bağlanabilir
Havalandırma/Isıtma Birimi	Uçağa havalandırma/ısıtma sağlamak	150 kW dizel veya benzinli; %50 yük	Programa ve hava koşullarına bağlı	Kapı/köprüye bağlanabilir
Havali Başlatma Birimi	Ana makineleri başlatmak için yüksek basınçlı hava akışı sağlamak	150 kW dizel; %90 yük	3-5 dakika	Uçakta Yardımcı Güç Birimi (APU) varsa genellikle kullanılmaz
Dar Gövdeli Uçak İtme Traktörü	Geri itme (pushback) ve bakım için çekmek	95 kW dizel, %25 yük	5-10 dakika	Elektrikli modelleri mevcut
Geniş Gövdeli Uçak İtme Traktörü	Geri itme (pushback) ve bakım için çekmek	400 kW dizel, %25 yük	5-10 dakika	
Yolcu Merdiveni	Uçağa kolaylıkla erişim sağlamak	30-65 kW dizel veya benzinli; %25 yük	2-10 dakika	Motorsuz ve elektrikli modeller mevcut
Kayıklı yükleyici (Belt loader)	Bagajların araba ile uçak arasında aktarılmasını sağlamak	33 kW dizel, benzinli veya gazlı; %25 yük	10-50 dakika	Elektrikli modeller mevcut
Bagaj traktörü (tug)	Yüklenmiş arabaları bagaj değişimine çekmek	30 kW dizel, benzinli veya gazlı; %25 yük	10-50 dakika	Elektrikli modeller mevcut
Kargo ve Konteyner Yükleyici	Transfere yardımcı olmak için ağır kargo ve konteynerleri kaldırmak	60 kW dizel veya benzinli, kaldırma teçhizatlı, %25 yük	10-50 dakika	Farklı tipleri mevcut
Kargo dağıtım (delivery)	Kargoyu doli'lerden yükleyiciye aktarmak	30 kW dizel veya benzinli; %25 yük	10-50 dakika	Farklı tipleri mevcut
Çekici (Bobtail Truck)	Çeşitli çekme ve ağır hizmetler	90 kW dizel kamyon; %25 yük	Değişken	Yüksek derecede değişken
Yiyecek-içecek ve hizmet kamyonu	Yiyecekleri ve ikmalî temizlemek ve yenilemek	85-130 kW dizel, makas kaldırıcı; %10-25 yük	10-20 dakika	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Tuvalet, içme suyu kamyonu	Uçak tuvalet deposunu boşaltmak, su depolarını doldurmak	120 kW dizel, tank ve pompaları mevcut; %25 yük	5-20 dakika	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Yakıt verme (hydrant) kamyonu	Yakıt hattından (pit) uçağa yakıt vermek	70-110 kW dizel, pompaları mevcut; %10-50 yük	10-40 dakika	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Yakıt Tankeri	Tankerden uçağa yakıt pompalamak	200 kW dizel; pompaları üzerinde; %10-50 yük	10-40 dakika	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Buz Çözme (De-icing) aracı	Kalkıştan önce uçağa buz çözme sıvısı püskürtmek	180 kW dizel; tank, pompa ve püskürtücüleri mevcut; %10-60 yük	5-15 dakika	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Bakım Asansörü (Lift)	Uçağın dışına erişim sağlamak	70 -120 kW dizel, benzin veya gaz; %25 yük	Değişken, az kullanılır	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Yolcu Transfer Otobüsleri	Yolcuları uçağa ve terminale taşımak	100 kW dizel, benzin veya gaz; %25 yük	Değişken (Zamandan ziyade mesafe)	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir
Forklift	Ağır cisimleri kaldırmak ve taşımak	30-100 kW dizel; %25 yük	Çok değişken	Elektrikli modeller mevcuttur; çoğunlukla kargo işlerinde kullanılır
Çeşitli Araçlar	Çeşitli Hizmetler	50-150 kW dizel, benzin veya gaz; %10-25 yük	Çok değişken (Zamandan ziyade mesafe)	Yol için sertifikalandırılmış motorlar kullanılabilir

3.1. YHT Kaynaklı Emisyonlar (GSE Emissions)

Yakıtın yanması sonucunda, yanmanın kimyasal özelliklerinden dolayı, farklı gazların ortama verilmesi (egzoz emisyonları) söz konusudur. Bu gazlardan, çevre tarafından indirgenmesi veya etkisi açısından sülfür oksitleri (SO_x), azot oksitleri (NO_x), yarım yanma ürünü karbon monoksit (CO) ve parçacık maddelerin (PM) doğrudan insan ve çevre sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir (Winther vd., 2015).

İçten yanmalı bir araç motoru, bir insanın bir günde gereksinim duyduğu yaklaşık 15 (onbeş) metreküp havayı 10 (on) dakikada sağlığa zararlı duruma getirebilmektedir (Marangoz, 2004). Sağlık açısından içten yanmalı motorlar tarafından oluşturulan bu emisyonların kardiyovasküler rahatsızlıklardan kanserlere, astımdan diyabeteğe kadar çok çeşitli zararlı etkileri belirlenmiştir (Stettler, Eastham, & Barrett, 2011).

Çevre açısından ise, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, sera etkisi ile küresel ısınmada da etkili olmaktadır. Küresel ısınma ise kutup buzlarının erimesi ile deniz seviyesinin yükselmesine neden olmakta ve iklim değişikliği nedeni ile sağlık, tarım, gıda, su kaynakları v.b. alanlarda problemlere neden olmaktadır (R. Çelik & Toprak, 2016; Soruşbay, 2003).

Atmosfere salınan sera gazları miktarının artması, küresel ısınmayı arttırmakta ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişiklikleri ise insanlardaki çeşitli sağlık sorunları ile birlikte doğada da sıcak hava dalgaları, seller ve kasırgalar gibi olaylara yol açmaktadır (S. Çelik, Bacanlı, & Görgeç, 2008).

Havaalanlarında kullanılan yer hizmetleri teçhizatı, havacılıktan kaynaklanan emisyonlar arasında önemli yer tutarlar. YHT tahrik sistemlerinin emisyon özelliklerine göre incelenmesi sonucunda bu sistemlerin otomobillerin emisyonlarına benzer kirlilik oranına sahip olduğu görülmüştür (Winther vd., 2015).

Hava ulaştırması, insan faaliyetleri sonucu üretilen karbondioksit (CO₂) yayılımının %2' sinden ve tüm ulaştırma kaynaklı CO₂ salınımının ise %12'sinden sorumludur (IATA, 2013). Havaalanları faaliyetleri ise tüm havacılık emisyonları içinde yaklaşık %5 CO₂ emisyon payına sahiptir (Ştimac vd., 2013). Diğer yandan havayolu operasyonları ile yıllık yaklaşık 10.000 prematüre ölü doğum arasında doğrudan bir ilişki olduğu iddia edilmektedir (Stettler vd., 2011).

Havalimanı emisyonlarının saatlik bazda ölçümü üzerine yapılan kapsamlı bir çalışmada, Kopenhag havalimanının işletilmesi sırasında yakıt tüketim oranları incelenmiştir. Bu çalışmada YHT yakıt tüketiminin tüm havaalanı yakıt tüketimine oranının %2 ve apron tarafındaki yakıt tüketimine oranının ise %24 olduğu tespit edilmiştir. Buradan da görüleceği üzere havaalanında yer hizmetleri teçhizatı tarafından tüketilen yakıt ve dolayısı ile üretilen emisyon oranı önemli boyutlarda olabilmektedir. Anılan çalışma verilerine göre YHT NO_x ve PM salınımı APU ve uçak motorlarından birkaç kat yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin operasyonun sabah saatlerinde YHT tarafından saatte yaklaşık 3.2 kg NO_x üretilirken APU 1.2 kg ve uçak motorları tarafından 0.5 kg NO_x salınımı gerçekleşmektedir. PM açısından da APU'lar 50 gr/saat PM üretirken, YHT 200 gr/saat üzerine çıkabilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, YHT'lerin emisyon açısından APU ve uçak motorlarına kıyasla daha kirlenici etki gösterdiği gözlenmektedir (Winther vd., 2015).

Havaalanı operasyonlarının oluşturduğu çevre ve sağlık etkilerinin sınırlandırılması için yetkili otoriteler yönlendirici ve özendirici çeşitli mekanizmalar geliştirmektedirler. Örneğin yeşil havaalanı sertifikası almak havaalanı işletmecileri için her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Diğer yandan YHT motor tiplerine göre kullanım yerlerini sınırlandırıcı mevzuat çalışmaları yürütülmektedir.

3.2. YHT Tahrik Sistemleri (GSE Propulsion Systems)

Yer hizmetleri teçhizatının bazıları insan gücü ile hareket ettirilmekte, bazıları bir araç tarafından çekilmekte ve bir kısmı da kendi gücü ile hareket etmektedir. Kendi gücü ile hareket edenler; LPG, benzinli ve dizel İçten Yanmalı Motorları (İYM) kullananlar, elektrik motoru ve batarya kullananlar (e-YHT) olarak sınıflandırılmaktadır.

3.2.1. İçten Yanmalı Motorlar (Internal Combustion Engines)

YHT ana tahrik sistemi olarak LPG, benzin ve dizel türleri yaygın olarak kullanılmaktadır. YHT tarafından ihtiyaç duyulan yüksek güç ve menzil ihtiyaçlarını sağlamakta İYM'lerin bugüne kadar yeterli performans gösterdikleri görülmüştür. İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtların enerji içeriği açısından günümüzde rakipsiz olduğu literatürde yer almıştır (Soydan, 2016).

3.2.2. Elektrik Motorları (Electric Motors)

Elektrikli tahrik sistemleri özellikle havaalanı operasyonlarının daha çevreci olması amacı ile gündeme gelmiş, çalışan sağlığı açısından da şut altı gibi kapalı alanlarda YHT kullanımı hem zorunlu hem de uygun bir seçenek olarak görülmüştür (SHGM, 2016).

Elektrik motorlu ve İYM tahrikli YHT'ler arasındaki en temel fark, enerjinin saklanması açısından görülmektedir. İYM için yakıt tankı kullanılırken, elektrik motorlu olanlar için batarya kullanımı gerekmektedir.

Yapılan bir pazar araştırmasında, e-YHT satın alma kararını etkileyen en önemli parametreler kullanıcılar tarafından şu şekilde ifade edilmiştir: Batarya performansı ve güvenilirlik (%78), destek (support) %61, fiyat ve bakım %59, toplam satın alma maliyeti %52 ve bulunabilirlik (availability) %43 olarak belirlenmiştir (Smith, 2013). Bu verilerin de işaret ettiği gibi, batarya performansı ve güvenilirliği e-YHT satın alma kararlarında en önemli faktörü oluşturmaktadır.

4. Elektrikli Yer Hizmetleri Teçhizatı Konusunda Dünyada Yapılan Çalışmalar (Studies on Electric Ground Support Equipment in the World)

Fosil yakıtlı YHT tahrik sistemlerinin sağlık ve çevre etkisini sınırlamak, sürdürülebilir ve maliyet-etkin uygulamalar geliştirmek amacı ile havayolu ve havaalanı işletmecileri arasında yenilikçi çözüm arayışları gündeme gelmiştir.

Bu bölümde, elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanımı konusunda dünyada yapılan çalışmalar ve elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanımı ile ilgili ekonomik ve çevresel boyutların modellenebileceği (hesaplanabileceği) çalışmalara yer verilmiştir.

4.1. E-YHT Kullanımı Çalışmaları (eGSE Application Studies)

American Airlines'ın 2001 yılında El Paso Uluslararası Havaalanında tüm fosil yakıtlı yer hizmetleri araçlarını elektrikliye çevirdiği ilk büyük projeden beri havaalanlarında e-YHT kullanımına dönüşüm çalışmaları yapılmaktadır ("American Airlines Switches to Electric GSE Fleet", 2001).

Ground Support Worldwide Readers tarafından gerçekleştirilen bir araştırmaya göre, 2013 yılında YHT'nin sadece %10'u elektrikli (Smith, 2013). Delta Havayolları 2016 yılı başlarında tüm dünyada işlettiği 103.000 den fazla YHT parkının %15'ini (15.000 adet) elektrikliye çevirmiştir (Thomas, 2016).

A.B.D. Ulaşım ve Çevre Merkezi (The Center for Transportation and the Environment-CTE) ile Delta Havayolları, 35 adet dizel yer hizmetleri teçhizatını elektrikliye dönüştürmek üzere iş birliği gerçekleştirmişlerdir. Dönüşüm 24 adet kayışlı yükleyici (belt loader) ve 11 adet konteyner yükleyiciyi kapsamıştır. Dönüştürme işlemi; mevcut dizel motor, yakıt tankı, aktarma organı (transmisyon) ve soğutma sisteminin sökülmesi ve bunların bir elektrik motoru, batarya bloğu ve elektrik kontrol sistemi ile değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dönüştürülen teçhizatı şarj etmek üzere her kapiya elektrik şarj cihazları monte edilmiştir. Yapılmış olan bu çalışma ile, dönüşümü yapılmış tüm YHT'nin toplam ömür devri boyunca 11.500 ton sera gazı ve 1 milyon galonun üzerinde dizel yakıt kullanımını azaltması beklenmektedir (Delta, 2013).

A.B.D. Enerji Bakanlığı Idaho Ulusal Laboratuvarı tarafından e-YHT'lerin yaygınlaşabilmesi için en uygun batarya çözümü Ontario Uluslararası Havaalanında (ONT) yapılan bir çalışma ile incelenmiştir. Çalışmada kurşun-karbon ve lityum-ion tabanlı iki farklı batarya 4 bagaj traktöründe kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda lityum-ion tabanlı bataryaların normal kullanım döngüsündeki güç gereksinimini daha iyi karşıladığı görülmüştür (Idaho National Laboratory, 2013).

IBERIA Havayolları tarafından dizel YHT'lerin e-YHT'ye dönüştürülmesi ile yapılan çalışmalarda, ortam sıcaklığı, araçların yoğun kullanımı ve kirlilik nedenleri sonucunda istenen operasyonel performansa erişilememiştir. Verim düşüklüğünün en önemli nedeninin şarj sıklığının yüksek ve şarj süresinin uzun olması olduğu belirtilmiştir. Bunun üzerine hibrid yakıt hücresi kullanımı ile oluşturulan hibrid enerji depolama sistemlerinin işlevsel gereksinimi sağladığı görülmüştür (Fontela vd., 2007).

A.B.D.'de 2012 yılında yapılan bir araştırmada, toplam 10.025 YHT'nin yaklaşık %11.6'sının e-YHT olduğu tespit edilmiştir. Bu YHT'ler içinde en yüksek sayıya sahip olan bagaj traktörlerinin (2.575 adet) ise %16.7'lik kısmı elektrikli (NAS, 2012).

Havaalanlarında e-YHT kullanımı ile ortaya çıkan şarj üniteleri ihtiyacının, elektrik şebekesi üzerindeki etkileri de incelenmiştir (Rajagopalan vd., 2003). Bu çalışma sonucunda şarj ünitelerinin şebeke üzerindeki güç faktörü açısından bozucu etkileri incelenmiş gerek ölçüm gerek hesaplama yolu ile veriler analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda şarj ünitelerinin elektrik şebekesi üzerinde bozucu etkisi olmadığı görülmüş, havaalanı elektrik şebekesi tasarımında istenen güç değerlerinin baştan dikkate alınması ihtiyacına dikkat çekilmiştir.

4.2. E-YHT Modelleme ve Hesaplama Çalışmaları (eGSE Modelling and Calculation Studies)

Zagreb Havaalanı için Airbus A319/A320 uçağının incelendiği bir çalışma ile YHT araçlarının elektrifikasyonu ile elde edilecek faydaların modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modelin kullanımı hem düşük maliyetli hem de tam hizmet iş modelleri için sınanmıştır. Çalışma sonucunda Zagreb Havaalanında bir günde 16 adet tam hizmet sunan ve üç adet düşük maliyetli havayoluna ait toplam 19 A319/A320 uçağına fosil yakıtlı yerine E-YHT ile hizmet verilmesi durumunda günlük 38.70 kg ve yıllık 23.427 kg daha az CO₂ emisyonu olacağı hesaplanmıştır (Ştimac vd., 2013).

Elektrik motorları veya benzinli ve dizel motorlar ile tahrik edilen havaalanı yer hizmetleri araçlarının ekonomik olarak geri ödemesini hesaplayan bilgisayar programının geliştirilmesi için çabalar mevcuttur. Modellenmesine çalışılan yer hizmetleri teçhizatı tipleri, geri itme (pushback) traktörleri, bagaj traktörleri ve şeritli yükleyicilerdir. Yer hizmetleri teçhizatı modelleme yazılımı, içten yanmalı motorlu yer hizmetleri teçhizatının elektrikli yer hizmetleri teçhizatı ile değiştirilmesi ile kazanılan egzoz yayılımını tahmin eden bir yazılım modülü içermektedir. Model geliştirilmesinde kullanılan varsayımlar, metodoloji, kullanıcı kılavuzu ve modelleme sonuçları bir rapor ile yayınlanmıştır. Model, dört ABD havaalanındaki iki havayolunun faaliyetleri temelinde geliştirilmiştir. Havaalanları ülkenin farklı bölgelerinde, değişik iklimlerde ve değişik arazi özelliklerinden olacak şekilde seçilmiştir (Morrow, Hochard, & Francfort, 2007).

Geri itme (pushback) traktörleri, bagaj traktörleri ve şeritli yükleyicilerin maliyetleri; sermaye maliyetleri, operasyon ve bakım maliyetleri ve ilgili altyapı maliyetlerini kapsamaktadır. Finansal analiz sonuçlarına göre içten yanmalı motorlu yer hizmeti teçhizatı (İYM GSE) için maliyeti etkileyen en büyük değişkenin akaryakıt maliyeti olduğu bulunmuştur. Bu nedenle akaryakıt kullanım miktarı yüksek olan YHT'lerin elektrikli modellerinin yatırım geri dönüş oranları hızlı olmaktadır. Örneğin Elektrikli bagaj traktörleri ve kayışlı yükleyiciler gibi normalde fazla akaryakıt harcayan YHT'ler, çoğu uygulamada, benzer performanstaki İYM YHT göre daha maliyet-etkindirler ve geri ödeme süreleri makuldür. Geri itme (pushback) traktörleri ise e-YHT için yüksek sermaye maliyeti ve düşük akaryakıt kullanımı nedeni ile daha uzun geri dönüş süresine sahiptirler (Morrow vd., 2007).

Yukarıda anılan çalışmadaki model geliştirmede veri iki ana kategoriye ayrılmıştır: (1) sermaye maliyetinin içerdikleri; GSE nin satın alınma fiyatı, GSE yi hizmete sokmadan önce gerekli değişiklikler, akü şarj aletleri, şarj sisteminin kurulum maliyetleri, (2) GSE bakımı, şarj altyapısı bakımı ve yakıt maliyetlerini içeren harcamalar.

Yayımlım (emisyon) hesaplamasında; uçağın büyüklüğü (dar gövde, geniş gövde), uçağın park ettiği pozisyon (köprü, apron, APU operasyonu, GSE operasyonları dikkate alınmaktadır (Fleuti, 2014). Yayımlım (Emisyon) hesaplamasında ikisi basit, ikisi daha gelişmiş olmak üzere dört yöntemden bahsedilmektedir (ICAO, 2011):

Birinci basit yöntem uçağı temel alan bir yaklaşımdır. Toplam emisyon; uçak gelişleri, kalkışları veya her ikisi ile önceden belirlenen (default) emisyon faktörleri çarpılarak hesaplanır. Örneğin dar gövde bir uçağı verilen bir yer hizmeti esnasında 0.400 kg/cycle NO_x, 0.040 kg/cycle HC, 0.150 kg/cycle CO, 0.025 kg/cycle PM10 ve 18 kg/cycle CO₂ emisyonu olduğu varsayılmaktadır. Söz konusu değerler Zürih Havaalanında yapılan çalışmalarda elde edilmiştir.

İkinci basit yöntem yer hizmetleri teçhizatı tarafından harcanan yakıt miktarını temel alan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde dizel ve benzinli teçhizat tarafından harcanan yakıt miktarı ile ortalama emisyon faktörleri çarpılır. Örneğin Avrupa'da CO emisyonu dizel için 15.0 g/kg ve benzin için 1193.0 g/kg'dır. Benzer şekilde CO₂ emisyonu dizel için 3150 g/kg ve benzin için 3140 g/kg'dır.

Üçüncü gelişmiş yaklaşımda her yer hizmetleri teçhizatının çalışma zamanı veya belirli bir zamandaki yakıt kullanımı bilinmeli veya tahmin edilebilmelidir. Hesaplama toplam yakıt kullanımı veya toplam çalışma saati kullanılabilir.

Emisyon-Y (g/YHT) = Yakıt (kg/saat) x Emisyon Faktörü-Y (g/kg.yakıt) x YKZ x DF veya

Emisyon-Y (g/YHT)=Güç (kW) x Yük (%) x Emisyon Faktörü-Y (g/kg.yakıt) x YKZ x DF

veya

Emisyon-Y(g/YHT) = Yakıt (yıllık kg.) x Emisyon Faktörü-Y (g/kg.yakıt) x DF

YKZ = Yıllık Kullanma Zamanı (saat)

DF = Deterioration Factor

Dördüncü ileri yaklaşımda tüm yer hizmetleri teçhizatının emisyonları, her operasyon (geliş, gidiş ve bakım) için ayrı ayrı hesaplanır.

Emisyon-Y (g) = Güç (kW) x Yük (%) x Emisyon Faktörü-Y (g/kWh) x UOZ (saat) x DF

UOZ = Park pozisyonu, uçak tipi, operasyon tipine göre ortalama YHT çalışma süresi (saat)

DF = Deterioration Factor

Örneğin bir yolcu merdiveni apronda park eden B737 tipi bir uçağa 10 dakika hizmet verdiği durumda, merdivenin 45 kW motoru, %25 yükte çalıştığı durumda, toplam salınımı NO_x= 11.61g olarak tespit edilir. Burada NO_x 6.0 g/kW-h ve DF yüzde 3 olarak kabul edilmiş olup, formül şu şekilde verilmiştir;

$45 \text{ kW} \times 0.25 \text{ yük} \times 6.0 \text{ g/kw-h} \times 1.03 \text{ DF} \times 10 \text{ dk./60 dk} = 11.61 \text{g NO}_x$

Yukarıdaki hesaplardan da görüleceği üzere, bir uçağa verilen yer hizmetleri sırasında her bir seferde sadece CO₂ açısından bakıldığında bile 20 kg mertebelerinde emisyon değerleri görülmektedir. Bu emisyon değeri uçağın emisyon değerleri ile birleştğinde havaalanı civarında oldukça yüksek hava kirliliği oluşumu beklenmesi olağan görülmektedir.

5. Elektrikli Yer Hizmetleri Teçhizatı Avantaj ve Dezavantajları (Advantages and Disadvantages of Electric Ground Support Equipment)

Havayolu taşımacılığında kaynaklı emisyonların azaltılması amacı ile yer hizmetleri araçlarında içten yanmalı tahrik sistemlerinden elektrik motorlu olanlara geçmenin faydaları konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu iki tahrik sisteminin bugüne kadar yürütülen çalışmalarda tespit edilen avantaj ve dezavantajları izleyen başlıklarda ele alınmıştır.

5.1. E-YHT Avantajları (Advantages of eGSE)

Elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanımı daha düşük egzost emisyonu seviyesi yanında işletme sırasında ortaya çıkan gürültüyü de azaltmaktadır ("American Airlines Switches to Electric GSE Fleet", 2001).

Elektrikli tahrik sistemi kullanan araçlarda, durma pozisyonunda yakıt sarfıyatı yoktur. İYM motorlar, araç dursa bile rölanti devrinde çalışmak zorundadırlar.

Elektrik motorları, duruş anından itibaren yüksek tork üretebilirler. Araçların duruş pozisyonundan itibaren daha az zamanda hızlanabilmeleri bazı uygulamalar için istenmeyen bir özellik olsa da uygun motor sürücü ayarları yapıldığı takdirde enerji verimliliği ve operasyon hızı açısından faydalı olabilir. YHT ve özellikle de çekici araçların, çektikleri ağırlığa karşı yüksek moment sağlayabilmesi için ağırlığın yüksek olması beklenir. Bu açıdan bakıldığında, YHT batarya ağırlıkları operasyon açısından bir sorun teşkil etmemektedir (Idaho National Laboratory, 2013). Hatta bu durum, lityum -iyon bataryalarda ikincil kullanım açısından bir fırsat olarak da değerlendirilebilir.

Elektrikli araçların hareketli parçasının az olmasından dolayı, İYM araçlara kıyasla bakım maliyetleri düşüktür. Otomobillerle kıyaslandığında, bir otomobilin ömür devri boyunca bakım maliyetinin yaklaşık yarısını yağ ve yağlama giderleri tutmaktadır (Pfırrmann-Powell, 2014). Elektrik motorlu araçlarda bu gider ihmal edilebilir boyutlardadır. İYM YHT bakım maliyetlerinin saatlik operasyon başına yaklaşık 35.35 USD olduğu tespit edilmiştir. İYM YHT'lerin e-YHT'lere kıyasla yaklaşık 2.5 kat daha fazla bakıma girdiği bilinmektedir (NAS, 2012).

Elektrikli yer hizmetleri teçhizatı kullanımı ile havaalanlarında araç başına işletme maliyetlerinin düşük olduğu, bunun yanı sıra e-YHT ilk yatırım maliyetlerinin İYM ekipmanlara kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan analizler e-YHT yatırım geri dönüş sürelerinin 3 ila 7 yıl arasında olduğu, İYM araçların elektrikliye

dönüştürülmesi ve toplu alımlar gibi tedbirlerle de bu maliyetin düşürülebileceği belirlenmiştir (Morrow vd., 2007).

5.2. E-YHT Dezavantajları (Disadvantages of eGSE)

YHT tahrik sistemlerinde elektrik ve batarya kullanımı ile elde edilen enerji tasarrufu, bakım/onarım maliyetinin düşüklüğü, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerin azaltılması gibi avantajların yanı sıra bazı dezavantajlar da mevcuttur.

Bunların en önemlisi bataryaların soğuk ve sıcak ortam şartlarında kullanımından kaynaklı problemlerdir. Bataryaların işletme sıcaklıklarının altında veya üstünde derecelerde kullanılmaları bataryaların ekonomik ömründe önemli bir düşüğe neden olmaktadır. Benzer şekilde işletme sıcaklıklarının üstünde bazı bataryaların güvenlik sorunları da ortaya çıkabilmektedir (Andrea, 2010; Rahn. D. & Wang, 2013). Örneğin IBERIA, dizel kargo araçlarını elektrikli ile değiştirmiş, ancak ortam sıcaklığı, nem, kirlilik ve batarya şarj sürelerinin uzun olması nedeni ile bu dönüşümden verim alınamamıştır (Fontela vd., 2007).

İşletme yönünden ise, kış şartlarında veya soğuk ortamlarda, İYM tahrikli YHT'lerde kullanıcı personelin konfor ısıtması için, İYM tarafından üretilen atık ısıdan faydalanılması mümkün iken, e-YHT atık ısıya sahip olmadığından, kullanıcı personel konfor ısıtması için da ayrıca bir elektrik kullanımı söz konusudur. Anılan bu konfor ısıtması için elektrik kullanımı, e-YHT'nin enerji verimini ve performansını olumsuz etkileyecek boyutlarda olabilmektedir.

Batarya şarj sistemleri, İYM ekipmanlar için akaryakıt ikmaline benzer bir problem ortaya çıkarmaktadır. Ancak günümüz havaalanı altyapılarının e-YHT için hazır olmamasından dolayı, bataryaların şarjı yeni nesil altyapı ve gereklilikler doğurmaktadır. Bunlardan ilki havaalanlarında mevcut elektrik altyapısı ile bataryaların şarjı üzerinedir. Bu konuda yapılan çalışmalar (Rajagopalan vd., 2003) e-YHT bataryalarının şarjı için elektrik şebekesinde ve daha sonra da şarj ünitelerinde bazı şartların sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

e-YHT için batarya değiştirme (battery swapping) şarj sorununa bir cevap olarak geliştirilmiş olmakla birlikte, her bir ekipman için en az iki batarya yatırımı ve bu bataryaların söküp takılması için ayrı bir altyapı yatırımı ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Diğer yandan havaalanında operasyonel sahaya yakın olması amacı ile dağıtık olarak yerleştirilecek şarj üniteleri de gerek işletme gerekse de emniyet açılarından ayrı bir çalışma konusu olarak öne çıkmaktadır.

Elektrik motoru, beraberinde elektrik enerjisinin depolanması için batarya gerektirmektedir. Günümüz batarya teknolojileri son on yılda oldukça gelişme gösterse de, halen istenen enerji yoğunluğu ve maliyet seviyesine ulaşamamıştır (Yildiz & Karakoc, 2016). Örneğin elektrik motorlu ve bataryalı bir YHT büyük havalimanlarında iki uzak nokta arasında tek şarjla hareket edemeyebilmektedir.

Silvester ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışma (Silvester vd., 2013) sonuçlarına göre e-YHT dezavantajları şu şekilde sıralanmıştır:

Elektrikli araçların menzilleri içten yanmalı motora sahip araçlara göre kısıtlıdır ve bu durum mevcut batarya teknolojilerinden kaynaklanmaktadır. Elektrikli araçların makul fiyatlar ile istenen menzillere ulaşması için önemli teknolojik gelişmelere ihtiyaç vardır. Çok sayıda elektrikli aracın aynı anda şarj edilebilmesi için havaalanlarında operasyonları kesintiye uğratmayacak şekilde ve uygun kapasitede elektrik şebekesine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryadan dolayı e-YHT ilk yatırım maliyetleri halen yüksektir.

6. Türkiye'de Elektrikli Yer Hizmetleri Teçhizatı Kullanım Durumu (Electric Ground Support Equipment Deployment in Turkey)

Türkiye'de sivil havacılık uygulamalarının yasal düzenlemelerini ve denetimini yapmakla sorumlu Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından 18.3.2016 tarihinde yayınlanan Yeşil Havaalanı Projesi Sektörel Kriterler Dokümanı çerçevesinde, yer hizmetleri firmalarına çevresel etkileri minimize etmek amacı ile bazı düzenlemeler getirmiştir (SHGM, 2017). Bu düzenlemeler arasında,

- Bagajları ayırım ve yükleme/boşaltma işlemlerinin yapıldığı şut altına içten yanmalı motorlara sahip taşıtların girmesi yasaklanmıştır, bu amaçla sadece elektrik motorlu araçlara izin verilmiştir,
- Hava aracının köprüye yanaşması ve köprü üzerinde ilgili altyapının mevcut olması halinde YHT kullanılarak hava aracına hava ve enerji verilmesi yasaklanmıştır.

Aynı dokümanda ayrıca yer hizmetlerinin çevresel etkilerinin gürültü, su kirliliği gibi alanlarda da iyileştirilmesi için düzenlemelere yer verilmiştir. SHGM tarafından başlatılan proje ve yayınlanan doküman çerçevesinde yer hizmetleri firmaları şut altında kullanmak üzere e-YHT tedariki yapmışlardır.

SHGM tarafından yayınlanan 26 Ağustos 2016 tarihli Havalimanları Yer Hizmetleri Yönetmeliği (SHGM, 2016) Madde 14 gereğince YHT cins ve özelliklerini takip etmekle yükümlü kılınmıştır. Ancak, Türkiye'deki devlet havalimanlarının yönetilmesinden sorumlu olan Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğünde havaalanı bazında kullanılan içten yanmalı ve elektrikli yer hizmetleri teçhizatı envanterine ait bilgi bulunmadığı ifade edilmiştir (DHMI, 2018).

Türkiye'de A tipi yer hizmetleri sertifikası olan 3 yer hizmetleri firmasından birinin 2017 tarihli Sera Gazı raporunda (TGS, 2017) yer alan bilgilere göre, faaliyet gösterdiği istasyonlar bazında Ocak 2017 tarihi itibarı ile elektrikli ve İYM YHT sayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bir Yer Hizmetleri Firmasının 2017 yılı Ocak ayı itibarı ile elektrikli araç envanteri (TGS, 2017), (Electric vehicle park of a ground support company as of 2017 January (TGS, 2017))

İstasyon Adı	İYM YHT sayısı	Elektrikli YHT sayısı	e-YHT sayısının toplam araç sayısına oranı
Antalya	247	26	%9.52
Adana	50	3	%5.66
Ankara	169	20	%10.58
İzmir	119	14	%10.53
Dalaman	55	6	%9.84
Milas-Bodrum	64	9	%12.33
İstanbul Atatürk	1055	147	%12.23
Sabiha Gökçen	232	27	%10.42
TOPLAM	1991	252	%12.66

Tablo 2. verilerinin analizinden, Türkiye'de örnek olarak seçilmiş olan yer hizmetleri firması verileri baz alındığında YHT'lerin yaklaşık %13'lük bölümünün e-YHT olduğu görülmektedir. Elektrikli araçlar genel olarak SHGM tarafından şart koşulan kapalı alanlarda İYM kullanılmasının yasaklanması üzerine kullanıma alındığı değerlendirilmektedir.

7. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, her geçen gün büyümekte olan havacılık sektörünün alt sistemlerinden olan yer hizmetlerinde fosil yakıtlı teçhizat yerine elektrikli teçhizatın kullanımı konusunda yapılan uygulama, modelleme ve hesaplama çalışmaları incelenmiştir.

Elektrikli veya diğer tahrik sistemlerine sahip yer hizmetleri teçhizatı kullanımı kararında dikkate alınması gereken faktörlerin en az; ilgili yasal mevzuat, ilk satın alma maliyeti, bakım-idame maliyeti, havaalanının bulunduğu bölgedeki iklim koşulları (çok sıcak veya çok soğuk), hizmet verilen uçak tipi (geniş gövde, uzun menzilli veya dar gövde, kısa ve orta menzilli), hizmet verilen havayolu iş modeli (düşük maliyetli havayolu, tam hizmet sunan havayolu) olduğu görülmüştür.

Literatürde, fosil yakıtlı araçların elektrikliye çevrilmesi üzerine çalışmaların bulunmasına ve bu yöntemin maliyet etkinliği açısından önerilmesine rağmen, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yayınlanan 26 Ağustos 2016 tarihli Havalimanları Yer Hizmetleri Yönetmeliği (SHY-22) Madde 14 gereğince yer hizmetleri firmalarında kullanılacak YHT'lerin "orijinal imalat olması ve imalatçısından veya yetkili satıcısından alınmış olması zorunludur". Bu durumda Türkiye'de mevcut fosil yakıtlı teçhizatın elektrikliye modifiye edilmesinin mevzuata göre mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

Elektrikli teçhizatın kullanımı sonucunda zararlı emisyonların azaltılması ve fosil yakıtlara göre tasarruf edilen maliyetler bilinse de bu çalışmada konuya dezavantajlar ve optimizasyonlar yönünden de bakılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen değerler ışığında çözüm önerileri izleyen paragraflarda sunulmuştur.

Havaalanı ortam şartlarının çok sıcak ve çok soğuk olması durumunda konvansiyonel olarak tercih edilen kurşun asit batarya teknolojisinin performansının teorik değerlerin çok altında kalmasından dolayı tercih edilemeyeceği, bu koşullarda ısı yönetiminin yapıldığı lityum-iyon batarya tercih edilmesi veya hibrit araçların kullanımının değerlendirilmesinin gerektiği düşünülmektedir.

Hibrit motor veya hibrit tahrik sistemi, İYM ve elektrik motorunun araç tahrikinde birlikte kullanılması durumudur. Hibrit tahrik sistemi, aracın kullanım yerine göre her iki motor tipinin avantajlarını bir araya getirmek için kullanılan bir yöntemdir. YHT üreticileri arasında yapılan katalog araştırmasında hibrit tahrik sistemine sahip bir ürün tespit edilmemiştir.

Fosil yakıt tüketimi fazla olmayan YHT sistemlerinin elektrikliye çevrilmesinin yatırım dönüş süresinin çok uzun olabileceği ve bu nedenle öncelikle kullanımda yakıt sarfiyatı yüksek olan araçların elektrikli olarak dönüştürülmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Batarya hücrelerinin ucuzlaması ile daha çok sayıda hücreden oluşan bataryaların kullanımının, YHT açısından ağırlık sorunu olmadığından gerek ısı yönetim gerekse de enerji kapasitesi açısından önemli bir imkân yaratabileceği düşünülmektedir.

Otomotivde gündeme gelen bataryaların ikincil kullanımı, yani kullanılmış hücrelerin yeniden değerlendirilmesi ile elde edilen bataryaların YHT'lerde de kullanımının değerlendirilebilecek bir konu olduğu görülmektedir. YHT kullanımında batarya şarj sürelerinin zaman açısından kritik olan havaalanı yer operasyonları açısından örece uzun olması, bugüne kadar yapılan örnek uygulamalarda en önemli dezavantajlardan biri olarak ön plana çıkmıştır. Halen operasyon sahalarının İYM tahrikli YHT'ler için tasarlanmış olmasından dolayı, şarj alanları genelde YHT'lere teknik servis verilen alanlarda, yani esas operasyon sahalarından uzakta olmaktadır. Bu da e-YHT'nin zaten uzun şarj sürelerine bir de servis bölgesine intikal süresi eklemektedir. Havaalanı operasyonunun tasarımı esnasında elektrikli YHT şarj noktalarının da göz önüne alınması, verim ve hız açısından kazanım sağlayabilecektir.

Elektrikli YHT'lerden havaalanlarında beklenen daha uzun menzil konusu, YHT'lerin ağırlık sorunu olmadığından daha çok batarya kullanımı ile aşılabilecek gibi görülmektedir. Bu konuda yapılacak ekonomik fizibilite etütlerinde batarya maliyeti kritik unsur olacaktır. Ancak özellikle otomotiv bataryalarının ikincil kullanımı ile YHT batarya maliyetlerinin azaltılması mümkün görülmektedir.

Havaalanlarında elektrikli YHT kullanımının gelişebilmesi için şarj gereksiniminin operasyonun bir parçası olarak ele alınması gerekliliği görülmektedir. Diğer yandan gelişmekte olan temassız şarj teknolojilerinin havaalanı güvenliği de göz önüne alınarak belli bölgelerde kurulması da şarj sorununu ortadan kaldıracak ve operasyon sahasında önemli zaman tasarrufu sağlayabilecek bir yetkinlik olarak değerlendirilmektedir.

Yer hizmetlerinin doğasından kaynaklanan hız gereksinimi nedeni ile zaman zaman operasyonda emisyon azaltılması ve enerji verimliliği ikinci hatta üçüncü önceliğe inebilmektedir. Operasyonun artan yolcu trafiği ve hız gereksinimine göre yeniden planlanması ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu tasarım aşamasında e-YHT kullanımının ve e-YHT kullanımından doğan gereksinimlerin de göz önüne alındığı hizmet tasarımı yapılmasının gerekli olduğu öngörülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma kapsamında Turkish Ground Services (TGS) firması Esenboğa İşletme Müdürlüğü tarafından sağlanan verilerden yararlanılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- American Airlines Switches to Electric GSE Fleet (2001), www.automotive-fleet.com/49245/american-airlines-switches-to-electric-gse-fleet, 28 Mayıs 2018
- Andrea, D. (2010). Battery Management Systems for Large Lithium-ion Battery Packs. Norwood: Artech House.
- Ateş, S. S. (2016). Yer Hizmetleri Kavramı ve Gelişimi. İçinde V. Durmaz (Ed.), Yer Hizmetleri Yönetimi. Anadolu Üniversitesi.
- Aubin, B. R. (2004). Aircraft Maintenance. SAE International.

- Çelik, R., & Toprak, Z. F. (2016). Küresel İklim Değişikliğinin Diyarbakır Kent Merkezi Yeraltı Suyu Seviyesine Etkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7(2), 279–290.
- Çelik, S., Bacanlı, H., & Görgeç, H. (2008). Küresel İklim Değişikliği ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Delta*. (2013). Delta, CTE Work Together To Reduce GSE Carbon Emissions At ATL. http://www.aviationpros.com/press_release/10943131/delta-cte-work-together-to-reduce-gse-carbon-emissions-at-atl, 28 Mayıs 2018,
- DHMI. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğünün 06 Temmuz 2018 gün ve 40543931-301.99-E.72562 sayılı yazısı (2018). Ankara: DHMI.
- Fleuti, E. (2014). Aircraft Ground Handling Emissions Methodology and Emission Factors Zurich Airport. Zurich Airport, 20.
- Fontela, P., Soria, A., Mielgo, J., Sierra, J. F., de Blas, J., Gauchia, L., & Martínez, J. M. (2007). Airport electric vehicle powered by fuel cell. *Journal of Power Sources*, 169(1), 184–193. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.01.056>
- IATA. (2013). Technology Roadmap.
- IATA, More Than 7% increase in Air Travel Compared to Last Year, 2017, <http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-09-01.aspx>, 13 Ekim 2017
- ICAO. (2011). Airport Air Quality Manual.
- Idaho National Laboratory. (2013). Electric Ground Support Equipment Advanced Battery Technology Demonstration Project at the Ontario Airport.
- Koch, B. (2010). Aviation Strategy and Business Model. İçinde A. Wald, C. Fay, & R. Gleich (Ed.), *Introduction to Aviation Management*. Berlin: LIT Verlag.
- Korul, H. (2016). Yer Hizmetlerinde Kullanılan Ekipmanlar. İçinde V. Durmaz (Ed.), *Yer Hizmetleri Yönetimi*. Anadolu Üniversitesi.
- Marais, K., & Waitz, I. A. (2009). Air Transport and the Environment. İçinde P. Belobaba, A. Odoni, & C. Barnhart (Ed.), *The Global Airline Industry*. London: John Wiley & Sons.
- Marangoz, M. (2004). İşletmelerin Çevresel Sorumluluğu : Türk Otomotiv Sanayine Yönelik Bir Araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 75–97.
- Morrow, K., Hochard, D., & Francfort, J. (2007). Cost Benefit Analysis Modeling Tool for Electric vs. ICE Airport Ground Support Equipment - Development and Results.
- NAS. (2012). Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial.
- NREL. (2017). Electric Ground Support Equipment at Airports.
- Pfaffmann-Powell, R. (2014). Americans' aging autos. *Beyond the Numbers: Prices & Spending*, 3(9).
- Rahn, D. C., & Wang, C.-Y. (2013). *Battery Systems Engineering*. Wiley.
- Rajagopalan, S., Harley, R. G., Lambert, F., Addy, M., Franklin, A., & Clappier, P. (2003). Power quality impacts of airport ground support equipment charging systems. İçinde 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (IEEE Cat. No.03CH37491) (ss. 1226–1231). IEEE. <http://doi.org/10.1109/PES.2003.1270504>
- SHGM. SHY-22 (2016). Resmî Gazete Sayı : 29810.
- SHGM. (2017). Yeşil Havaalanı Projesi Sektörel Kriterler Dokümanı, http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/projeler/Yesil_Havaalani_Projesi_sektorel_kriterler.PDF, 25 Ağustos 2018
- Silvester, S., Beella, S. K., Van Timmeren, A., Bauer, P., Quist, J., & Van Dijk, S. (2013). Exploring design scenarios for large-scale implementation of electric vehicles; The Amsterdam Airport Schiphol case. *Journal of Cleaner Production*, 48, 211–219. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.053>
- Smith, S. (2013). Electric GSE Buying Trends Report.
- Soruşbay, C. (2003). Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makina*, s.564(c:48), 22–26.
- Soydan, Y. (2016). Elektrikli ve Konvansiyonel Otomobil Tribolojisi: Yeni Eğilimler ve Uygulamalar. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7(3), 527–536.
- Stettler, M. E. J., Eastham, S., & Barrett, S. R. H. (2011). Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5415–5424. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.012>
- Štimac, I., Vince, D., Jakšić, B., & El, M. I. (2013). Model of Environment -Friendly Aircraft Handling – Case Study: Zagreb Airport, 1–12.
- Tabares, D. A., & Mora-Camino, F. A. C. (2017). Aircraft Ground Handling: Analysis for Automation. İçinde 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (s. 16). Denver, United States.
- TGS. (2017). TGS Sera Gazı Raporu. https://www.tgs.aero/politikalar/Sera_Gazi_Raporu11.pdf, 20 Ağustos 2018
- Thomas, M. (2016). Airline's other fleet: Science behind ground equipment, <http://news.delta.com/airline-s-other-fleet-science-behind-ground-equipment>, 28 Mayıs 2018
- Wensveen, J. G. (2007). *Air Transportation: A Management Perspective (Sixth)*. İngiltere: Ashgate.
- Winther, M., Kousgaard, U., Ellermann, T., Massling, A., Nøjgaard, J. K., & Ketzel, M. (2015). Emissions of NO_x, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport. *Atmospheric Environment*, 100(x), 218–229. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.045>
- Yildiz, M., & Karakoc, T. H. (2016). Studying and sizing of batteries for efficient battery management in aviation applications. İçinde 6th EASN International Conference On Innovation in European Aeronautics Research. Porto.
- Zero-Emission Airport Ground Support Equipment (2018), <https://www.arb.ca.gov/msprog/offroad/gse/gse.htm>, 28 Mayıs 2018