



İNİŞ KALKIŞ DÖNGÜSÜNDEKİ SAFHA SÜRELERİNİN GERÇEK UÇUŞ VERİLERİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Ozan CANARSLANLAR

Ali Ozan CANARSLANLAR, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, aocanarslanlar@anadolu.edu.tr

DOI: [10.23890/SUHAD.2017.0105](https://doi.org/10.23890/SUHAD.2017.0105)

ÖZET

Hava taşımacılığı endüstrisi, ülkeler için ekonomik büyümede kilit rol oynamanın yanı sıra atmosferdeki kirletici emisyonlarını da ortaya çıkartan önemli bir kaynak durumundadır. Bu nedenle bu endüstrinin çevresel etkilerinin dikkate alınması ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir. Havaalanı ve civarındaki uçak emisyonlarının hesaplanmasında ICAO LTO döngüsündeki safha sürelerinin kullanılması halinde sonuçların gerçek emisyon değerlerini yansıtmayacağı ICAO tarafından belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında havaalanı civarındaki uçak emisyonlarının doğruluğunu iyileştirmek amacıyla Türkiye'deki belirli havaalanları için operasyonel ICAO LTO döngüsü safha süreleri hesaplanmıştır. Gerçek uçuş verilerine dayalı olarak yapılan hesaplamalar neticesinde ICAO tarafından belirlenen LTO döngüsüne kıyasla tüm safha süreleri için ciddi farklılıklar bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: İniş-kalkış Döngüsü, Uçuş Safhaları, Uçuş Veri Kayıtları, Operasyonel Uçuş

AN ASSESSMENT OF LANDING AND TAKE-OFF CYCLE TIME-IN MODE USING OPERATIONAL FLIGHT DATA

ABSTRACT

The air transport industry plays a key role in economic growth for countries, as well as an important source of pollutant emissions in the atmosphere. For this reason it is important that the environmental impacts of this industry are taken into account and accurately estimated. ICAO has stated that the calculation of aircraft emissions in and around the airport do not reflect the actual emission values of the results if the phase durations in the ICAO LTO cycle are used. In this study, operational ICAO LTO cycle times for certain airports in Turkey are calculated to improve the accuracy of aircraft emissions around the airport. As a result of calculations based on actual flight data, significant differences are found for all phase durations compared to the LTO cycle determined by ICAO.

Keywords: Landing and Take-Off Cycle., Flight Phases, Flight Data Recorder, Operational Flight

1. GİRİŞ

Hava araçları tarafından tüketilen yakıt ve üretilen emisyonlar hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden dolayı her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Uçak kaynaklı emisyonlar uçuşun farklı safhalarında ve yerdeki operasyonu sırasında ortaya çıkmaktadır. Havaalanı civarındaki uçak emisyonlarının yerel hava kalitesine ve havaalanı civarında yaşayan insanların sağlığına direkt bir etkisi söz konusudur. Uçuş sırasında ortaya çıkan emisyonlar, harcanan yakıt miktarına ve emisyon indekslerine bağlı olduğu kadar uçuş safhalarında geçen süreye de bağlıdır. Havaalanı ve çevresinde uçaklardan kaynaklanan emisyonların

hesaplanmasında Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO -International Civil Aviation Organisation) motor egzoz emisyon veri tabanı ve ICAO İniş ve Kalkış Döngüsü (LTO-Landing and Take-off Cycle) kullanılmaktadır. Bu veri tabanı ve döngü; sabit itki ayarlarına, safha sürelerine, yakıt akış oranlarına ve emisyon indekslerine bağlıdır. ICAO LTO döngüsü, uçakların havaalanı ve havaalanı civarındaki yerden karışım yüksekliğine (genellikle 3000 feet) kadar olan hareketlerini kapsamaktadır. LTO döngüsü ICAO tarafından taksi-in, taksi-out, tırmanma, son yaklaşma ve kalkış olmak üzere 5 safha olarak belirlenmiştir. Taksi-in safhası, uçağın inişini tamamladığı andan

park pozisyonuna gidip ana motorlarını kapattığı ana kadar olan gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır. Taksi-out safhası, motor çalıştırma anından kalkış için frenlerin bırakıldığı ana kadar olan gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi içermektedir. Tırmanma safhası, güç kolunun arkaya çekildiği noktadan karışım yüksekliğine kadar olan gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır. Kalkış safhası, kalkış için frenlerin serbest bırakıldığı andan ana motor güç kolunun arkaya çekildiği ana kadar olan ortalama gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır. Yaklaşma safhası ise karışım yüksekliğinden pist üzerinde inişini gerçekleştirdiği ana kadar olan ortalama gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır. Uçak motorları bu safhalarda farklı itki ayarlarında uçuşları gerçekleştirmektedirler. ICAO tarafından belirlenen safha süreleri ve itki ayarları Tablo 1’de verilmiştir (ICAO Doc9889, 2011).

Tablo 1: ICAO LTO döngüsü safha süreleri ve itki ayarları

Safha	Zaman(dk)	İtki Ayarı
Taksi-in	7	7%
Taksi-out	19	7%
Yaklaşma (Approach)	4	30%
Kalkış (Take-off)	0.7	100%
Tırmanma (Climb)	2.2	85%

ICAO, uçak motor emisyon standartlarının hesaplanmasında kullanılan LTO döngüsündeki safha sürelerini ilk olarak 1960’ları sonu ile 1970’lerin başında belirlemiştir. Bu zamandan beri özellikle uçak motor teknolojilerinin her geçen gün geliştirilerek daha verimli hale gelmesine rağmen ICAO LTO döngüsü yenilenmemiştir. Ayrıca, LTO döngüsündeki safha süreleri ve itki ayarları operasyon sırasında uçak ağırlığı, sıcaklık, rüzgâr, pist şartları gibi faktörlere bağlı olarak da farklılık göstermektedir (Simic ve Babic, 2015). Bu nedenlerden dolayı tek bir havaalanı için günden güne hatta gün içerisinde bile bu safha sürelerinde farklılıklar olabileceği ICAO tarafından belirtilmektedir. ICAO, operasyon sırasında elde edilen gerçek uçuş verileri mevcut ise daha doğru bir envanter elde etmek amacıyla bu verilerin kendi verilerinin yerine hesaplamalarda kullanılmasını tavsiye etmektedir (ICAO Doc9889, 2011).

Gerçek uçuş verileri kullanılmasıyla LTO safhaları boyunca gerçekleşen yakıt tüketiminin ve emisyonun belirlenmesi adına gerçekleştirilen birçok çalışma mevcuttur (Romano vd., 1999; Herndon vd., 2004, 2009; Yader, 2007; Senzig vd., 2009; Nikoleris vd, 2011; Kurniawan ve Kardi, 2011; Khadilkar ve Balakrishnan, 2012). Fakat operasyonel LTO safha sürelerinin belirlenmesi adına yapılan çalışmalar ve bu çalışmalarda

kullanılan veri sayısı kısıtlıdır. Fleuti ve Polymeris (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İsviçre Zürih Havaalanı için mevcut uçak operasyonlarını yansıtan LTO döngüsü oluşturulmuş ve ICAO LTO döngüsüne göre kıyaslama yapılmıştır. Çalışmanın neticesinde özellikle kalkış ve tırmanma safhalarında ICAO LTO döngüsüne göre belirgin farklılıklar bulunmuştur. Celikel ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada Zürih Havaalanı için emisyon envanterinin oluşturulması amacıyla operasyonel LTO döngüsü safha süreleri kullanılmıştır. Patterson ve ark. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ICAO LTO döngüsüne kıyasla gerçek yaklaşma safhası süresi önemli derecede daha yüksek, tırmanma safhası süresi ise daha düşük bulunmuştur. Yashovardhan ve Hamsa (2014) tarafından yapılan çalışmada ise özellikle taksi ve tırmanma safhalarında ICAO LTO döngüsüne kıyasla daha düşük değerler bulunmuştur. Ayrıca yaklaşma safhası değerleri birçok uçak tipi için daha yüksek bulunmuştur. Yılmaz (2017) tarafından yapılan çalışmada Kayseri Havaalanı’ndaki taksi süresindeki 2 dakikalık azalma neticesinde LTO emisyonlarının toplamında yaklaşık %4 azalma olacağı belirlenmiştir.

Yakıt tüketimlerinin ve emisyonların doğru bir şekilde belirlenmesi ekonomik sebeplerden dolayı oldukça önemlidir. Ayrıca emisyonların azaltılmasının bir yolu da doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. Bu çalışmada gerçek uçuş verilerinden operasyonel LTO döngüsü safha sürelerinin belirlenmesi ve bu sürelerin ICAO LTO safha süreleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda THY’nin 2011 yılında İstanbul merkez olmak üzere yurt içinde gerçekleştirdiği uçuşların FDR kayıtları kullanılarak analizler yapılmış ve operasyonel LTO safha süreleri Türkiye’deki 30 havaalanı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1 FDR Verileri

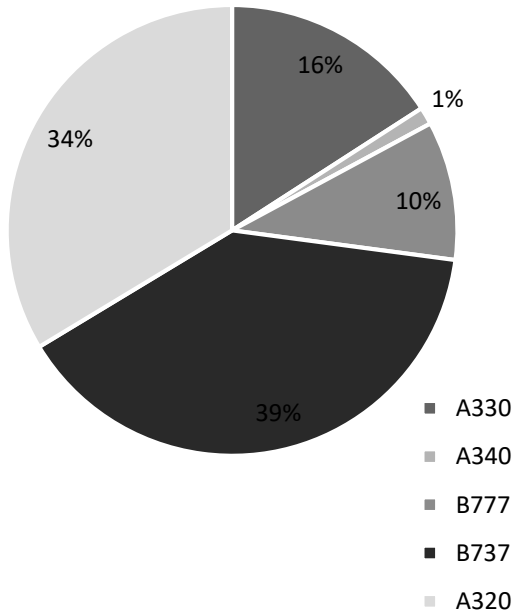
Türkiye’deki havaalanları için LTO döngüsü belirlenirken THY Uçuş Emniyet Müdürlüğü’nden elde edilen uçuş veri kayıtları (FDR-Flight Data Recorder) kullanılmıştır. FDR, uçağın motor çalıştırıldığı andan inişini gerçekleştirdiği ana kadar olan tüm verilerin gösterge ve sensörlerden temin edilerek anlık olarak kaydedilmesini sağlayan bir cihazdır. Bu cihaz, uçağın pilotunun ve otopilotun yaptığı tüm değişiklikleri de kaydetmektedir (ICAO Annex 6, 2010).

FDR kayıtlarındaki parametreler uçak tipine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle ilgili uçak tipinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde B738 ve A320 tipi uçaklara ait veriler kullanılmıştır. 2016 yılı sonu itibarıyla THY filosunda bulunan yolcu uçaklarının %39’unu B737 tipi uçaklar %34’ünü de A320 tipi

uçaklar oluşturmaktadır (THY, 2017). Bunun yanı sıra Türk hava sahasındaki tüm uçuşların %41'lik kısmı B737 tipi uçaklarla ve %33'lük kısmı da A320 tipi uçaklarla gerçekleştirilmiştir (DHMI, 2017). Bu nedenlerden dolayı FDR kayıtlarının temininde bu uçak tipleri seçilmiştir.

FDR kayıtları excel dosyası olarak uçuşun her saniyesindeki bilgilerini içerecek şekilde elde edilmiştir. Bu dosyalar her bir uçuşun uçak çağrı adı, kalkış ve iniş meydanı, pist rakımı, enlem ve boylam, yükseklik ve irtifa gibi bilgilerini içermektedir. Verilerin analiz edilmesi amacıyla ilk olarak FDR kayıtlarından LTO hesaplamaları için gerekli olan uçuş bilgileri belirlenmiştir. ICAO tarafından LTO döngüsü tanımı 3000 feet ve altından gerçekleşen uçuşlar için yapılmıştır. Başka bir deyişle karışım yüksekliği değeri 3000 feet olarak belirlenmiştir. Bu nedenle ilgili uçuş verileri yer seviyesinden 3000 feet ve altı için belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan uçuş parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Uçuş safhası süreleri belirlenirken taksi-in ve yaklaşma süreleri için varış havaalanları, taksi-out, kalkış ve tırmanma süreleri için ise kalkış havaalanlarına ait uçuş verileri kullanılmıştır. Bu veriler ışığında uçağın gaz kolu ayarlamalarına göre B737 ve A320 uçak tipleri için kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi safhalarının süreleri MS Access ve MySQL veri tabanı yönetim sistemi kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 1: 2016 yılına ait THY'nın filosundaki uçak tiplerini yüzde olarak dağılımı (THY, 2017)

Tablo 2: LTO döngüsü için kullanılan FDR parametreleri

FDR parametresi	Açıklaması
TLA1C	1 no'lu motorun gaz kolu açısı(Merkez)
LDGL	Uçağın yerde veya havada olduğunu gösteren devre
ORIGIN	Kalkış Meydanı
RUNWAY_TO	Kalkış yapılan pist başı
DESTINATION	İniş Meydanı
RUNWAY_LD	İniş yapılan pist başı
HEIGHT	Yükseklik (ft)
ALT_QNH	QNH İrtifa (ft)

Çalışma kapsamında THY'nin 2011 yılında yurt içinde İstanbul Atatürk Havalimanı merkez olmak üzere 30 havaalanına gerçekleştirdiği toplam 9884 uçuşun FDR verisi elde edilmiştir. Bu FDR kayıtlarında B737 için 63 ve A320 için ise 61 farklı parametre sütunu bulunmaktadır. Hem toplam veri sayısının hem de parametre sayısının fazlalığı nedeniyle veri depolama kapasitesi yüksek olan MySQL veri tabanı kullanılmıştır. MySQL veri tabanı oluşturulurken FDR parametrelerindeki farklılıklar nedeniyle A320 uçuşları veri320, B738 uçuşları ise veri738 olmak üzere iki ayrı çizelgede tutulmuştur. Veri320 çizelgesinde yer alan A320 uçuşlarına ait veriler on altı milyondan fazla satır içermektedir. Çizelgelerde A320 için 61 farklı parametre sütunu yer aldığı dikkate alındığında veri320 kayıtları (16,487,239 x 61)'lik bir matris formundadır. Veri737 çizelgesinde yer alan B737 uçuşlarına ait yaklaşık on beş milyon satır içermektedir. Çizelgelerde B737 için 63 farklı parametre sütunu yer aldığı dikkate alındığında veri738 kayıtları (14,939,238 x 63)'lük bir matris formundadır. MySQL veri tabanı üzerindeki analizler MS Access sorguları aracılığı ile yapılmıştır.

Yapılan kontroller neticesinde her bir LTO safha süresinin belirlenmesi aşamasında o veri setine ait olmadığı düşünülen aşırı uç değerler veri setinden çıkartılmıştır. Bu nedenle her bir havaalanı ve LTO safhası için kullanılan veri sayısı değişiklik göstermektedir. Bu değerler genellikle sistem hatasından kaynaklanabilen değerlerdir. Taksi-out safhasında olan bir uçağın pilotu pist başına kadar geldikten sonra arıza vb. durumdan dolayı kalkışı iptal edebilir. Bu durumda uçak taksi hareketine devam ederek aprona döner. Bu gibi durumlar söz konusu olduğunda bu uçuşa ait veriler de veri setinden çıkartılmıştır.

2.2 Veri Analizleri

FDR kayıtları motorun çalıştırılması ile başlar. Taksi-out sorgusu, uçağın motor çalıştırma anından

pist başına gelerek kalkış için hareket ettiği ana kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Bu durumda motorun ilk çalıştırıldığı an başka bir deyişle FDR kayıtlarının ilk satırı taksi-out safhasının başlangıcını gösterir. TLA1C parametresi toplam 5 değer almaktadır. Bu değerlerden FLX-MCT (Flexible Maximum Continuous Thrust) gaz kolunun tamamen açılarak maksimum itkinin oluşturulması ile kalkış safhasına başladığını göstermektedir. TLA1C parametresi bu durumda 4 değerini alır. Bu nedenle TLA1C'nin ilk kez 4 olduğu satır taksi-out safhasının bittiğini belirleyen satırdır. Dolayısıyla taksi_out safha süresi FDR kayıtlarının ilk veri satırı ile TLA1C'nin ilk kez 4 olduğu satır arasındaki satırları içermektedir. Her satırın 1 saniye sürüyor olma mantığı ile taksi-out süresi belirlenmiştir.

Taksi-in safhası uçağın varış meydanına inişi sırasında piste teker koyduğu andan park edeceği aprona ulaşip ana motorlarını kapattığı ana kadar olan süreyi kapsamaktadır. FDR kayıtlarındaki LDGL parametresi hava/yer mantığını ifade etmektedir. "0" değeri uçağın havada olduğunu, "1" değeri ise uçağın yerde olduğunu göstermektedir. LDGL parametresinin varış meydanında ilk olarak "0" olduğu an uçağın taksi-in safhasının başladığı an olarak kabul edilmiştir. Bu andan itibaren ki veri satırı ile son veri satırına kadar olan süre taksi-in süresini vermektedir.

Kalkış safhası, taksi-out safhasının sonu ile başlayıp uçağın pist üzerinde teker keserek tırmanmaya geçmesi ile son bulmaktadır. Bu kapsamda TLA1C'nin ilk kez 4 değerini aldığı satır kalkış safhasının başlangıcı, LDGL parametresinin ilk kez "0" değerini aldığı satır ise kalkış safhasının bitişini göstermektedir. Bu iki satır arasındaki satırlar toplamı ise her bir satırın bir saniyeye karşılık gelme mantığı ile kalkış safhasının süresini vermektedir.

Tırmanma safhası uçağın pist üzerinde teker keserek havalanması ile başlayıp karışım yüksekliğine ulaşması ile son bulur. Bu kapsamda LDGL parametresinin ilk kez "0" değerini aldığı (güç kolunun arkaya çekildiği an) satır ile yüksekliği ifade eden HEIGHT parametresinin ilk kez 3000 feet olduğu satır aralığı tırmanma süresini belirlemektedir.

Yaklaşma safhası, karışım yüksekliğinden pist üzerine inişini gerçekleştirdiği ana kadar olan ortalama gaz kolu ayarlarının mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır. Yüksekliği ifade eden HEIGHT parametresinin son kez 3000 feet olduğu satır ile LDGL parametresinin son kez "0" olduğu (varış havaalanına teker koyduğu an) satır aralığı sayılarak yaklaşma safhasının süresi belirlenmiştir.

3. BULGULAR

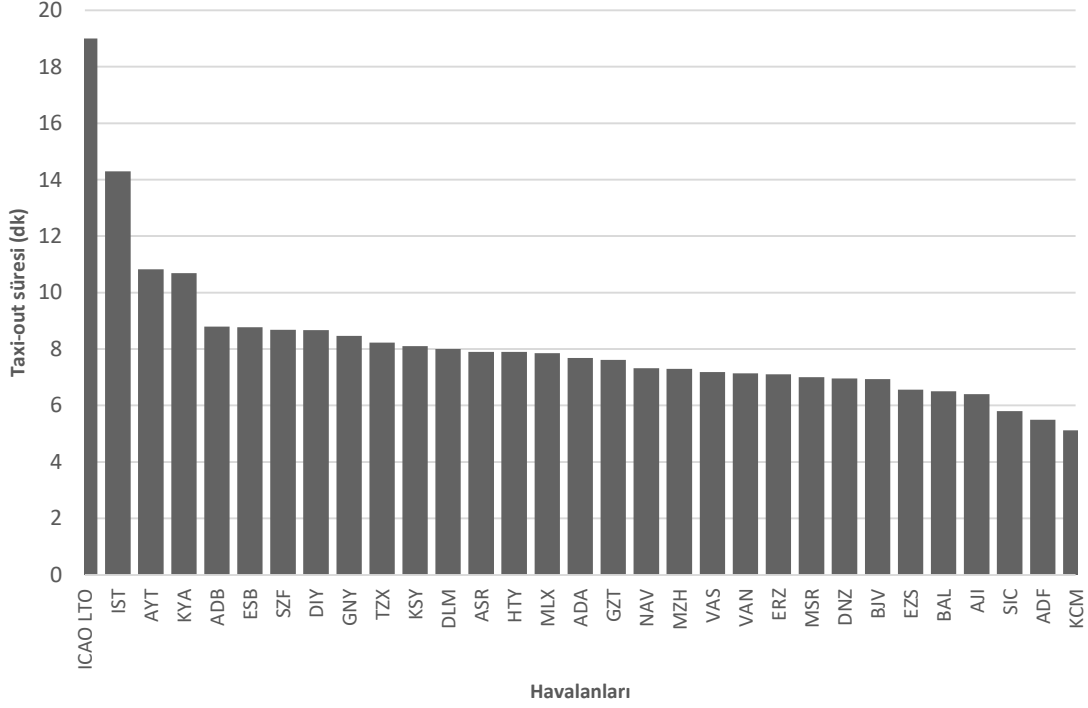
3.1 Taksi-out Safhası

ICAO'nun belirlediği standart LTO döngüsünde taksi-out süresi 19 dakika olarak belirtilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre en uzun taksi-out süresine sahip havaalanı ortalama 14.3 dakika ile İstanbul Atatürk Havaalanı olarak belirlenmiştir. İstanbul Atatürk Havaalanı'ndan sonra en uzun taksi-out süresine sahip havaalanı Antalya Havaalanı'dır (10.8 dk). Yapılan taksi-out süresi hesaplamalarında en az taksi-out süresine sahip havaalanları sırasıyla Kahramanmaraş (5.1 dk), Adıyaman (5.5 dk) ve Sinop Havaalanı (5.8 dk) olarak belirlenmiştir.

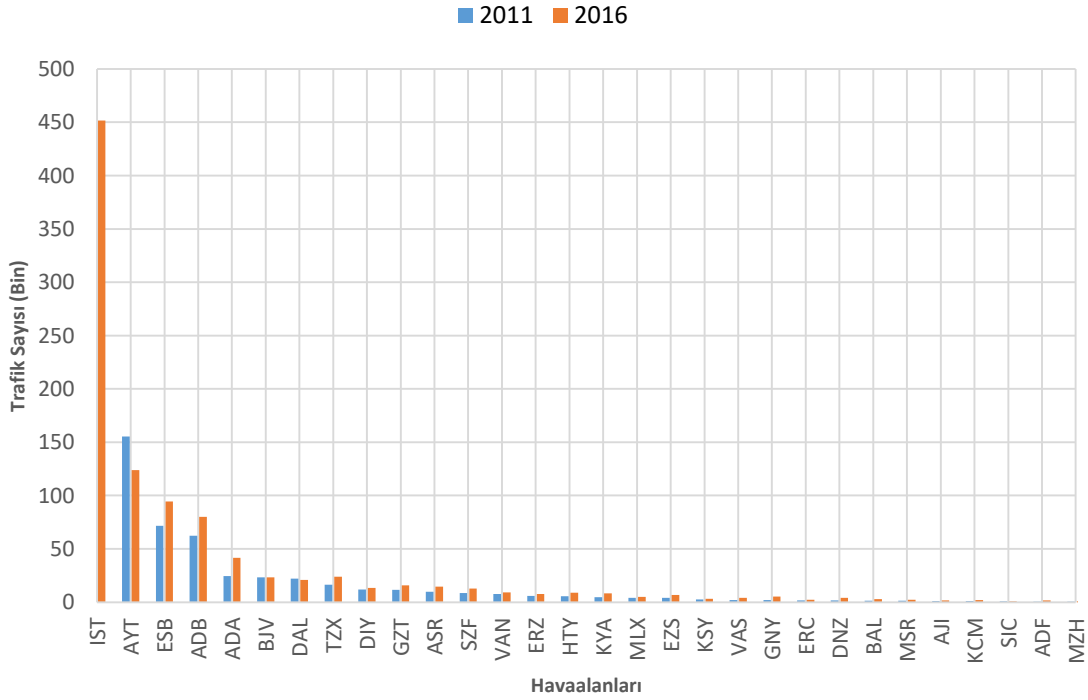
Uçakların taksi-out sürelerini etkileyen bazı durumlar söz konusudur. Pist başına gelen kalkış uçağı son yaklaşımda olan uçağın inip pisti terk etmesini bekleyebilir. Aynı şekilde önünden kalkacak uçak ile gerekli ayırmanın sağlanabilmesi için pist başında bekleyebilir. Bu bekleme süreleri de taksi-out safhası içerisindedir. Dolayısıyla da taksi-out süresi artabilmektedir. Bu gibi durumlar ilgili havaalanın trafik yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu nedenle havaalanlarının trafik yoğunluğu incelenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen FDR verilerin 2011 yılında gerçekleşen uçuşlara aittir. Şekil 3'de 2011 yılına ait havaalanlarının ticari uçak sayıları verilmiştir (DHMİ, 2017). Ayrıca güncel hava trafik durumunun da görülebilmesi amacıyla 2016 trafik sayıları da şekilde gösterilmiştir. Bu sıralamaya göre en fazla uçuşun gerçekleştiği havaalanı İstanbul Atatürk Havaalanı'dır (301,518 uçuş). En az uçuşun gerçekleştiği havaalanları ise sırasıyla Amasya (470 uçuş), Adıyaman (518 uçuş) ve Sinop (668 uçuş) Havaalanları'dır. Dolayısıyla ilgili havaalanının trafik yoğunluğunun taksi-out süresini etkilediği düşünülebilir.

Trafik yoğunluğu ile taksi-out süresi arasındaki ilişkiye bakıldığında trafik yoğunluğu az olup taksi-out süresi yüksek çıkan bazı havaalanları (Konya ve Amasya Havaalanları gibi) olduğu görülmektedir. Şekil 3'de verilen trafik sayıları sadece sivil uçuşları kapsamaktadır. Konya, Amasya, Dalaman, Erzurum, Batman, Diyarbakır, Elâzığ, Muş ve Sivas havaalanları ikili anlaşmalar gereği sivil ulaşımında yararlanılan ve DHMİ tarafından hizmet verilen hem askeri hem sivil havaalanlarıdır. Askeri operasyonlar trafik yoğunluğunu etkileyebilmektedir. Bu durumda havaalanlarının taksi-out süreleri de artabilmektedir. Bu nedenle bu havaalanlarına ait taksi-out süresinde askeri trafik sayısı da göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2: Havaalanlarına ait taksi-out süreleri



Şekil 3: Havaalanlarına ait 2011 ve 2016 yılı trafik sayıları (DHMİ, 2017)

3.2 Taksi-in Safhası

ICAO'nun standart LTO döngüsünde taksi-in süresi 7 dakika olarak belirtilmiştir. En uzun taksi-in süresine sahip havaalanları Amasya (9.3 dk), İstanbul Atatürk (9.2 dk) ve Malatya (7.4 dk) Havalimanlarıdır. Bu değerler ICAO LTO taksi-in

süresinin üzerindedir. En kısa taksi-in süresine sahip havaalanları ise Ağrı (3.2 dk), Kayseri (3.6 dk) ve Van (3.8 dk) Havalimanlarıdır. Trafik yoğunluğu LTO döngüsü taksi-in sürelerini etkileyen faktörlerdendir. Daha önce verilen Şekil 3'de görüldüğü üzere en yoğun trafiğe sahip havaalanları

olan İstanbul Atatürk Havalimanı'nın taksi-in süresi ICAO LTO taksi-out süresinin yaklaşık %30'u kadar yüksek çıkmıştır. Fakat en az trafiğe sahip havaalanı olan Amasya Havaalanı en yüksek taksi-in süresine sahiptir. Amasya Havaalanı 05-23 pist konfigürasyonuna sahiptir ve sivil apron ile terminal binası 05 pist başına yakın konumlandırılmıştır. 05 pistine iniş yapan uçak pist sonundan taksi yoluna girerek aprona gitmektedir. Bu da 05 pistine iniş yapan uçağın taksi-in süresinin fazla olmasına neden olmaktadır. Eldeki Amasya uçuşları tamamında iniş için 05 pistinin kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak; trafik yoğunluğunun yanı sıra uçağın iniş yaptığı pist başı, park pozisyonuna giderken izlediği taksi yolu, uçağın bulunduğu apron gibi havaalanı elemanlarının yerleşimi safha süresini etkileyen bir faktördür.

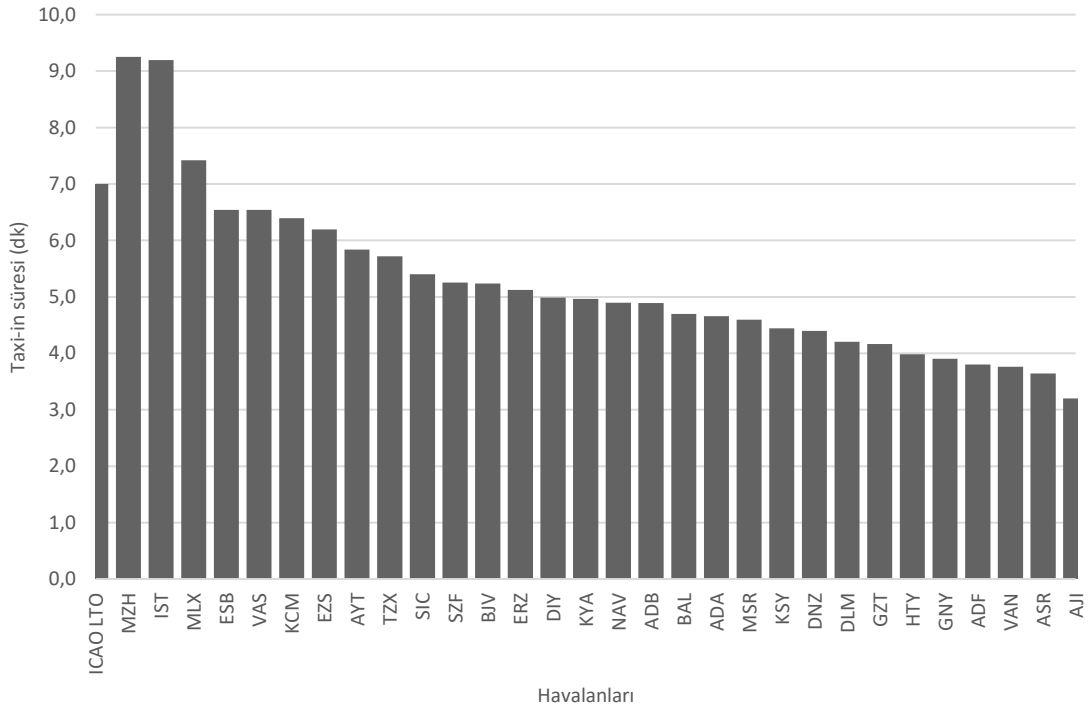
3.3 Kalkış Safhası

ICAO LTO döngüsündeki kalkış safhasının süresi 42 sn olarak belirlenmiştir. Havaalanları arasında her iki uçak tipinin ortalaması alınarak hesaplanan kalkış süreleri anlamında büyük bir farklılık

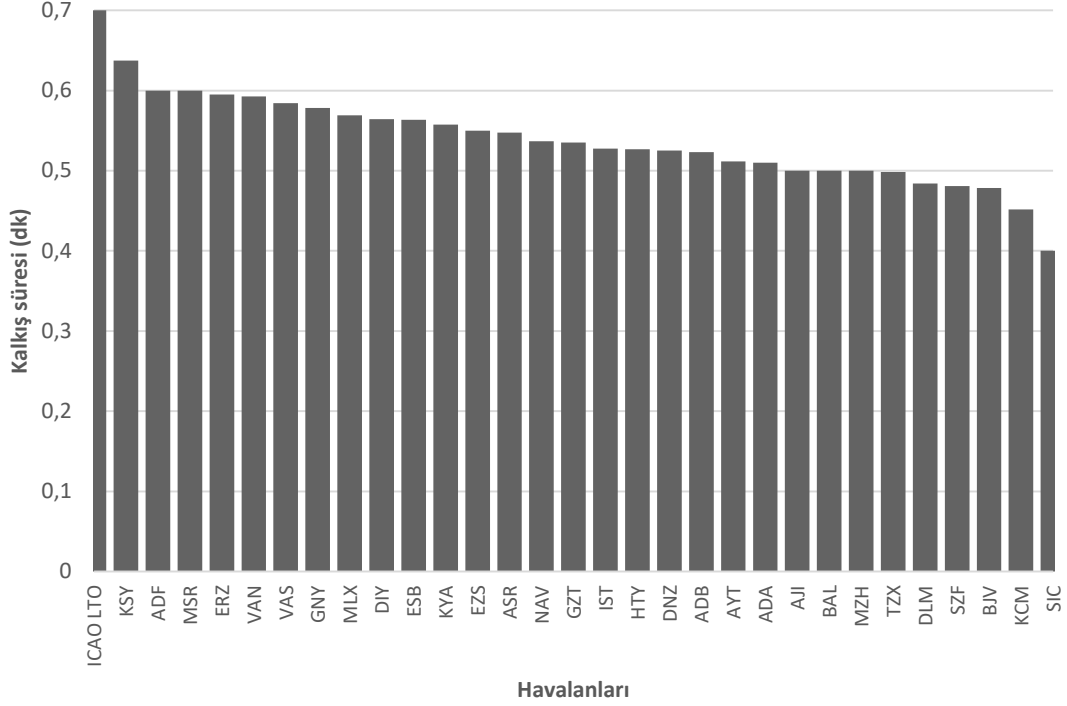
bulunmamaktadır. Toplam 12 havaalanı için LTO kalkış süresi 36 sn, 17 havaalanı için ise 30 sn olarak hesaplanmıştır. Sadece Sinop Havaalanı için bu değer yaklaşık 25 sn olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

3.4 Tırmanma Safhası

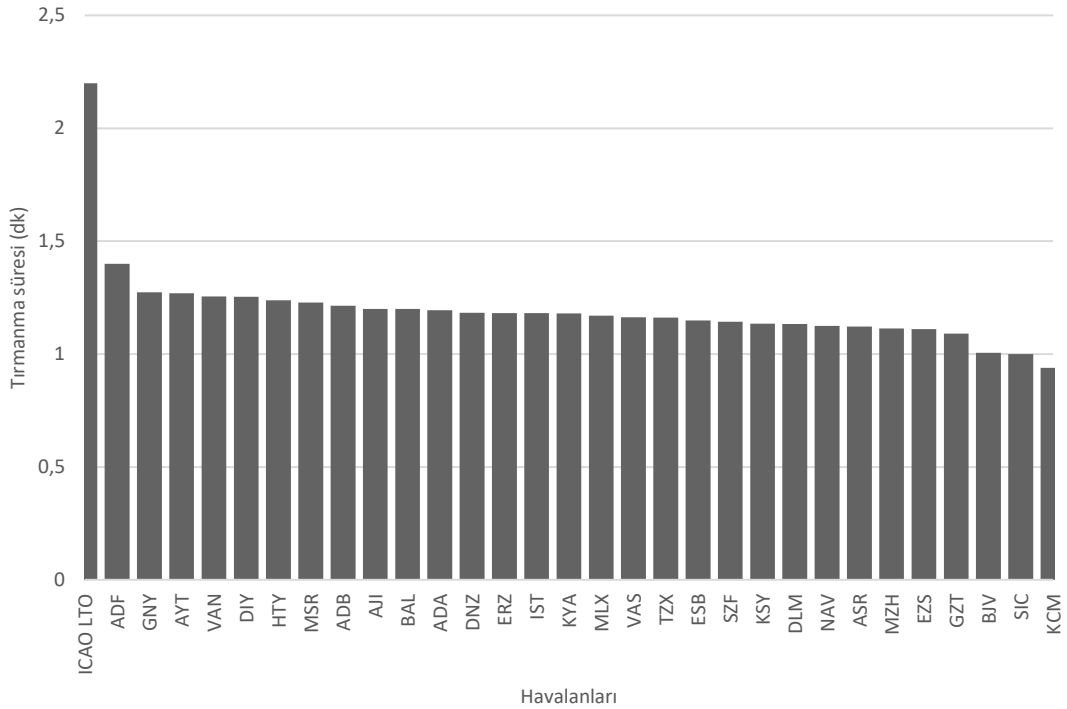
Tırmanma süreleri bütün havaalanları için 0.9-1.4 dakika arasında birbirlerine yakın olarak tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu değerler ICAO LTO tırmanma safhası değeri (2.2 dk) ile kıyaslandığında oldukça ciddi bir fark olduğu görülmektedir. Bunun nedeni uçak motorlarının geliştirilmesi ile daha verimli bir hale getirilmesi ve böylelikle tırmanış sürelerinin kısalmasıdır. Ayrıca çalışma kapsamında sadece B737 ve A320 uçak tiplerine ait veriler kullanılmıştır. ICAO ise LTO safha sürelerini belirlerken tüm uçak kategorilerine ait verileri kullanmıştır. Farklı uçak kategorisindeki uçak tiplerinin farklı tırmanma oranlarına sahip olduğu ve tırmanma safhasındaki söz konusu farkın bu nedenden dolayı kaynaklanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4: Havaalanlarına ait taksi-in süreleri



Şekil 5: Havaalanlarına ait kalkış süreleri



Şekil 6: Havaalanlarına ait tırmanma süreleri

3.4 Yaklaşma Safhası

Karışım yüksekliğinden pist üzerine inişini gerçekleştirdiği ana kadar olan ortalama gaz kolu ayarların mevcut olduğu süreyi kapsamaktadır.

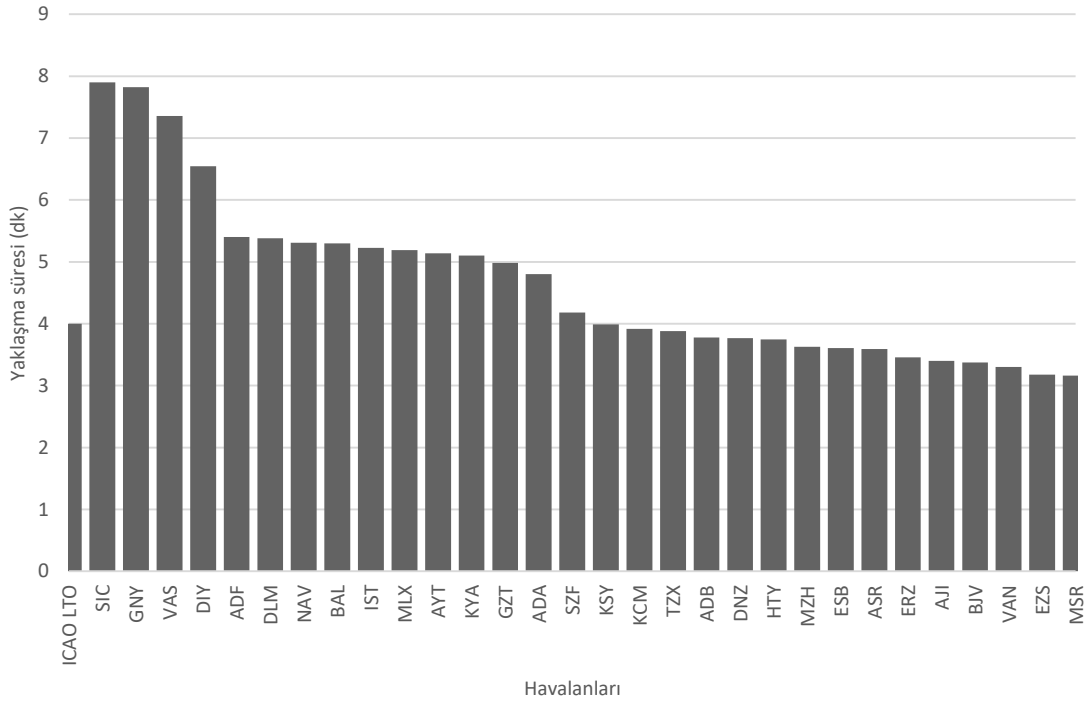
ICAO LTO döngüsündeki yaklaşma safhasının süresi 4 dakika olarak belirlenmiştir.

Her iki uçak tipinin ortalamaları alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek yaklaşma

süresine sahip havaalanları Sinop (7.9 dk), Şanlıurfa (7.8 dk) ve Sivas (7.4 dk.) Havaalanları olarak belirlenmiştir. En düşük yaklaşma süresine sahip havaalanları ise Muş (3.2 dk), Elâzığ (3.2 dk) ve Van (3.3 dk) Havaalanları'dır. Adana, Antalya, İstanbul, Diyarbakır, Malatya, Nevşehir ve Batman Havaalanları için hesaplanan yaklaşma süreleri ICAO'nun belirlediği 4 dakikalık yaklaşma süresinin üzerinde bulunmuştur (Şekil 6).

Trafik sayısı düşük olan Sinop Havaalanı'nın en yüksek yaklaşma süresine sahip olması nedeniyle bu havaalanına ait yaklaşma planları incelenmiştir. Sinop Havaalanı LTO yaklaşma safha süresinin belirlenmesi için kullanılan 40 uçuş verisi incelendiğinde 35 uçuşun inişini 23 pistine gerçekleştirdiği görülmektedir. Sinop Havaalanı yaklaşma planlarında 23 pistine direkt yaklaşma planlarının olduğu, 05 pisti için ilan edilmiş bir yaklaşma planının bulunmadığı 05 pistine inişlerin 23 pistine yapılan yaklaşmanın devamında turlu yaklaşma (circling/visual manoeuvring) ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Sinop Havaalanı 23 pisti NDB/DME yaklaşma planı incelendiğinde

minimum bekleme irtifası 3000 feet olan sola dönüş bir bekleme paterninin mevcut olduğu görülmektedir. İnişe gelen uçak ilk olarak NDB üzerinde 3000 feette beklemeye girmektedir. Beklemeyi 3000 ft'de terk eden uçak 45°/180° Prosedür Dönüşü manevrası ile alçalmakta ve 23 pistini karşılayacak konuma gelmektedir. Bu manevrada uçak 6 NM dönüş noktasına ilerleyerek 2000 ft'e alçalmakta daha sonra 45°/180° dönüşünü gerçekleştirerek, 230° baş ile 23 pistini karşıladığı son yaklaşma fiksine gelmektedir. Bu fiksten itibaren de alçalmasına devam etmektedir. Bu manevra neticesinde uçakların 3000 ft'de bekleme paternini terk etmelerinden itibaren 23 pistine incek uçaklar için yaklaşık 7 dk, aynı yaklaşmayı uygulayarak 05 pistine turlu yaklaşma ile incekler için 10 dk sürmektedir. LTO döngüsü yaklaşma safhasının 3000 feet ile piste teker konulduğu ana kadar olduğu göz önünde tutulduğunda Sinop Havaalanı için seyrüsefer yardımcısının piste olan konumu ve ilan edilen yaklaşma prosedürleri yaklaşma süresinin yüksek çıkmasında belirleyici olduğu görülmektedir.



Şekil 7: Havaalanlarına ait yaklaşma süreleri

3.5 Toplam LTO süresi

Havaalanı ve civarında uçaklardan kaynaklanan emisyon miktarının daha doğru bir şekilde hesaplanması amacıyla her bir havaalanı için ayrı LTO döngüsü toplam süresi bu çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Bu anlamda; elde edilen verilerle tüm havaalanları için ayrı ayrı hesaplanan LTO döngüsü safha süreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Ayrıca ICAO LTO döngüsü ile kıyaslama yapabilmek adına tüm havaalanlarına ait safha sürelerinin ortalamaları alınarak tek bir LTO döngüsü belirlenmiştir. Buna göre operasyonel LTO döngüsü için taksi-out süresi 7.8 dk, taksi-in süresi 5.2 dk, tırmanma süresi 1.2 dk, kalkış süresi 0.5 dk ve yaklaşma süresi ise 4.6 dk olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: “Medium” uçak kategorisi için belirlenen LTO safha süreleri

Havaalanı	LTO Safha Süreleri (dk)					LTO toplam süre (dk)
	Taxi-in	Taxi-out	Kalkış	Yaklaşma	Tırmanma	
ADA	4.7	7.7	0.5	4.8	1.2	18.9
ADB	4.9	8.8	0.5	3.8	1.2	19.2
ADF	3.8	5.5	0.6	5.4	1.3	16.6
ASR	3.6	7.9	0.5	3.6	1.1	16.8
AJI	3.2	6.4	0.5	3.4	1.2	14.7
AYT	5.8	10.8	0.5	5.1	1.3	23.5
BAL	4.7	6.5	0.5	5.3	1.2	18.3
BJV	5.2	6.9	0.5	3.4	1.0	17.0
DIY	5.0	8.7	0.6	6.5	1.3	22.0
DLM	4.2	8.0	0.5	5.4	1.1	19.2
DNZ	4.4	7.0	0.5	3.8	1.2	16.8
ERZ	5.1	7.1	0.6	3.5	1.2	17.5
ESB	6.5	8.7	0.6	3.6	1.1	20.5
EZS	6.2	6.6	0.6	3.2	1.1	17.6
GNV	3.9	8.5	0.6	7.8	1.3	22.0
GZT	4.2	7.6	0.5	5.0	1.1	18.4
HTY	4.0	7.9	0.5	3.7	1.2	17.4
IST	9.2	14.3	0.5	5.2	1.2	30.4
KCM	6.4	5.1	0.5	3.9	0.9	16.8
KSY	4.4	8.1	0.6	4.0	1.1	18.3
KYA	5.0	10.7	0.6	5.1	1.2	22.5
MLX	7.4	7.9	0.6	5.2	1.2	22.2
MSR	4.6	7.0	0.6	3.2	1.2	16.6
MZH	9.3	7.3	0.5	3.6	1.1	21.9
NAV	4.9	7.3	0.5	5.3	1.1	19.2
SIC	5.4	5.8	0.4	7.9	1.0	20.4
SZF	5.3	8.7	0.5	4.2	1.1	19.7
TZX	5.7	8.2	0.5	3.9	1.2	19.4
VAN	3.8	7.1	0.6	3.3	1.3	16.1
VAS	6.5	7.2	0.6	7.4	1.2	22.8

4. SONUÇ

ICAO LTO döngüsünün belirlenmesinde motor ayarlarının uçak tipini, uçuş prosedürlerini ya da atmosferik şartları hesaba katmadan gerçek uçuş ayarlarını gösterdiği varsayılmaktadır. Bunun sonucunda gerçek uçuş verileri ile yapılan operasyonel LTO ölçümleri standart olan LTO döngüsünden farklı çıkmaktadır. Gerçek uçuş verileri ile yapılan hesaplamalar neticesinde oluşturulan operasyonel LTO döngüsü ile ICAO tarafından belirlenen LTO döngüsü arasında tüm safha süreleri için ciddi farklılıklar bulunmuştur. Buna göre; ICAO LTO döngüsü safha sürelerine kıyasla taxi-out süresinde %59, tırmanma süresinde %45, kalkış süresinde %29 ve taksi-in süresinde ise %26’lık bir azalma belirlenmiştir. Sadece yaklaşma safhası süresinde ICAO LTO döngüsüne göre bir artış (%15) söz konusudur. Yaklaşma safhası için

belirlenen bu artış literatürdeki diğer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir (Patterson vd., 2009; Rice, 2003).

Havaalanının trafik yoğunluğu nedeniyle hava trafik kontrolörleri uçaklara 3000 feet veya altında düz uçuş yaptırabilmektedir. Aynı şekilde yaklaşma prosedürleri nedeniyle pilotlar türlü yaklaşma, yön değiştirme ve racetrack manevraları uygulayarak 3000 feet veya altında düz uçuş gerçekleştirebilmektedirler. LTO döngüsünün 3000 feet altındaki uçak hareketleri kapsamaması nedeniyle yukarıda bahsedilen durumlar yaklaşma safhasının süresinin artmasına neden olmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da yapılan hesaplamalarda sadece “medium” kategorisine ait uçak tiplerinin esas alınmış olmasıdır. Uçak performanslarındaki farklılıklar nedeniyle diğer

uçak tipleri için bu LTO safha süreleri farklılık gösterecektir.

Sonraki çalışmalarda, elde edilen bu operasyonel LTO safha süreleri kullanılarak Türkiye'deki havaalanları için emisyon hesaplamaları gerçekleştirilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 111Y048) tarafından desteklenmiştir. Uçuş verilerine erişmemize izin vererek çalışmaya katkıda bulunan Türk Hava Yolları'na teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Celikel, A., Duchene, N., Fleuti, E., Fuller, I., Hoffman, P., Moore, T., Silue, M., 2004, "Airport local air quality studies; case study: Emission inventory for Zurich Airport with different methodologies", Eurocontrol Experimental Centre, Rep. No. EEC/SEE/010, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMI), erişim tarihi: Ocak, 2017, URL: <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>

Fleuti, E., Polymeris, J., 2004, "Aircraft NO_x-Emissions within the Operational LTO Cycle," Unique Swiss, s. 11

Herndon, S.C., et al., 2004, "NO and NO₂ emission ratios measured from in-use commercial aircraft during taxi and takeoff", Environ. Sci. Technol. 38, 6078-6084

Herndon, S.C., Wood, E.C., Northway, M.J., Miake-Lye, R., Thornhill, L., Beyersdorf, A., Anderson, B.E., Dowlin, R., Dodds, W. ve Knighton, W.B., 2009 "Aircraft hydrocarbon emissions at Oakland International Airport," Environmental Science and Technology, vol. 43, no. 6, s. 1730-1736

International Civil Aviation Organisation (ICAO), 2010, "Annex 6. Operation of Aircraft Part I, International Commercial Air Transport-Aeroplanes"

International Civil Aviation Organisation (ICAO), 2011, "Doc 9889: Airport Air Quality Guidance Manual", Kanada, s. 3-A1-2

International Civil Aviation Organisation (ICAO), 2011, "Doc 9889: Airport Air Quality Guidance Manual", Kanada, s. 3-A1-3

Khadilkar, H. ve Balakrishnan, H. 2012, "Estimation of aircraft taxi fuel burn using flight data recorder archives", Transportation Research Part D, vol. 17, no. 7, s. 532- 537

Kurniawan, J.S., Khardi, S., 2011 "Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports", Environmental Impact Assesment Review, vol.31, no:3, s. 240-252

Nikoleris, T., Gupta, G., Kistler, M., 2011, "Detailed estimation of fuel consumption and

emissions during aircraft taxi operations at Dallas/FortWorth International Airport", Transp. Res. Part D 16, 302-308

Patterson, J., Noel, G.J., Senzig, D.A., Roof, C.J., Fleming, G.G., 2009, "Analysis of Departure and Arrival Profiles Using Real-Time Aircraft Data", Journal of Aircraft 46(4), 1094-1103

Rice, C. C., 2003, "Validation of Approach and ClimbOut times in Mode for Aircraft Emissions Computation," Transportation Research Record, Vol. 1850, s. 79-82

Romano, D., Gaudioso, D., Lauretis, R., 1999 "Aircraft emissions: a comparison of methodologies based on different data availability", Environ. Monit. Assess., vol:56, s.51-74

Senzig, D.A., Fleming, G.G. ve Iovinelli, R.E. 2009, Modeling of terminal-area airplane fuel consumption," AIAA Journal of Aircraft, vol. 46, no. 4, s. 1089-1093

Simic T., Babic O. 2015, "Airport Traffic Complexity and Environment Efficiency Metrics for Evaluation of ATM Measures", Journal of Air Transport Management, s. 260-271

Türk Hava Yolları, erişim tarihi: Ocak 2017 URL: <http://investor.turkishairlines.com/tr/mali-veriler/filo>

Yashovardhan, S., Hamsa, B., 2014, "Analysis of aircraft fuel burn and emissions in the landing and take-off cycle using operational data", 6th International conference on research in air transportation (ICRAT)

Yılmaz I., 2017, "Emissions from passenger aircrafts at Kayseri Airport, Turkey", Journal of Air Transport Management, Volume 58, s. 176-182,

Yoder, T. 2007, "Development of aircraft fuel burn modeling techniques with applications to global emissions modeling and assessment of the benefits of reduced vertical separation minimums", S.M. Thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge