



Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi

Determination of Aircraft Emissions at Kahramanmaraş Airport

Kıymet ÖZGÜNOĞLU¹, Nihan UYGUR ^{*1}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan UYGUR , nuygur@ksu.edu.tr

ÖZET

Uçaklar LTO (iniş/kalkış) ve seyir aşamalarında küresel iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkiye sahip olan sera gazları ve hava kirleticilerinin oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir. Bu emisyonların gelecekte oluşturabilecekleri olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik teknolojik stratejilerin geliştirilmesi doğru ve güvenilir emisyon envanter çalışmalarıyla mümkündür. Bu çalışma ile Kahramanmaraş Havalimanında 2016 yılında uçakların LTO (iniş/ kalkış) esnasında oluşturduğu sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O) ve hava kirleticileri (CO, NO_x, SO₂, NMVOC) IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) metodolojileriyle belirlenmiş Tier yaklaşımlarına göre tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IPCC, Tier, LTO, Uçak emisyonları, Sera gazı, Hava kirleticileri

ABSTRACT

Aircrafts have an important impact on the formation of greenhouse gases and air pollutants, which have adverse effects on global climate change in LTO (landing /take off) and cruising stages. The development of technological strategies to reduce the potential adverse effects of these emissions in the future is possible with accurate and reliable emission inventory studies. In this study in 2016 year the greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) and air pollutants (CO, NO_x, SO₂, NMVOC) have estimated which occurred during the LTO (landing /take off) of aircrafts at Kahramanmaraş Airport the Tier approaches determined by the IPCC.

Keywords: : IPCC, Tier, LTO, aircraft emissions, greenhouse gas, air pollutants

1. GİRİŞ

Son yıllarda hava taşımacılığındaki artış havalimanı kaynaklı hava kirlenme emisyonlarının üzerine dikkat çekmektedir. Özellikle bazı istatistik veriler bu gerçekliği açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin Avrupa'daki mevcut uçuş sayısının muhtemelen 2025 yılında %32'lik artışla 2,3 milyon uçuşa ulaşacağı tahmini, bu durumu destekleyen bir olasılıktır. (Pecorari ve ark.,2016). Çoğu çalışma uçak emisyonlarının havalimanlarında hava kirliliği üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğunu ve hava trafiğindeki artışın hava kalitesinin bozulmasına neden olabileceğini vurgulamaktadır (Pecorari ve ark., 2016; Song ve ark., 2015).

Genel itibarıyla uçakların uçuş esnasında oluşturdukları egzoz emisyonları CO₂ (Karbon dioksit), H₂O (su buharı) , NO_x (azot oksitler), SO_x (kükürt oksitler), CO (karbon monoksit), HC (hidrokarbonlar), VOC (uçucu organik karbonlar), diğer gaz ve partiküller olarak belirlenmektedir (Kesgin, 2006). Bu egzoz emisyonları fosil bazlı yakıt olan kerosenden kaynaklanmaktadır (Unger ve ark., 2012).

Havacılığın atmosferik çevre üzerindeki önemi 1970'li yılların başına dayanmaktadır. 1970'li yıllarda Concorde sivil süpersonik uçaklardan kaynaklanan NO_x (NO+NO₂) emisyonlarının stratosferik ozon tükenmesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 1980'li yılların sonunda subsonik uçaklardan kaynaklanan emisyonların troposferik ozon ve iklim değişimi üzerindeki etkileri ve yoğunlaşma izi (contrail) ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. 1990'lı yılların başında ve 2000'li yıllarda ise havacılık emisyonlarının (CO₂, NO_x, partiküller vs.) iklimsel RF (radyoaktif kuvvet) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalara göre havacılıktan kaynaklanan toplam RF, 55 Wm⁻² ile antropojenik kaynaklı RF'in % 3,5'lik kısmını oluşturmaktadır (Song ve ark., 2012)

Son birkaç yıldır havalimanlarının yakın yerleşim yerlerinde havalimanı emisyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için çeşitli metotlar kullanılarak dünya çapında bazı çalışmalar yapılmıştır. (Carslaw ve ark., 2006) yılında Londra Heathrow Havalimanında uçak aktivitelerinden kaynaklanan emisyon etkilerini belirlemek için havalimanı etrafında 7 coğrafik sitede 2 değişkenli kutupsal grafik ve veri filtreme tekniğini kullanarak NO_x konsantrasyonunu ölçmüştür. (Schürmann ve ark., 2007) Zurich Havalimanında NO, NO₂, CO ve CO₂ emisyonlarını belirlemek için uçağın rölanti esnasındaki emisyon indislerini open path (açık yol) aygıtıyla ölçerek ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) tarafından yayımlanan emisyon

verilerindeki emisyon indisleri ile karşılaştırmıştır. (Hsu ve ark., 2012) Worwick T.F. Green Havalimanında uçağın iniş ve kalkış (LTO) aktivitelerinden kaynaklanan UFP (Ultrafine partikül) konsantrasyonlarının etkisini belirlemek için 4 site etrafında yüksek çözünürlüklü monitör ve uçak aktivite verilerini kullanarak ölçümler yapmıştır. (Song ve ark., 2015) Güney Kore’de yer alan üç uluslararası havalimanında (Incheon, RKSI; Gimpo, RKSS; Jeju, RKPC) CMAQ modeli yardımıyla yaz mevsiminde sınır tabakası (BL) içinde uçaktan yayılan hava kirleticilerinin Ozon konsantrasyonu üzerine etkilerini araştırmıştır. (Pecorari ve ark., 2016) Başlıca uçak egzoz emisyonları olan (NO_x , HC ve CO)’un dağılımını ve çökmesini (kümeleşmesini) Lagrangian partikül modelini kullanarak değerlendirmiş mekansal ve geçici uçak egzoz dağılımını LTO (iniş/kalkış) döngüleri için analiz etmiştir. (Ekici ve ark., 2013) 2012 yılında Atatürk Havalimanı (İstanbul), Antalya Havalimanı (Antalya), Esenboğa Havalimanının (Ankara) içinde yer aldığı Türkiye’deki havalimanlarında uçağın iniş-kalkış esnasında (HC, CO, NO_x) emisyonlarını incelemiştir. (Elbir, 2008) Adnan Menderes Havalimanında uçuş verileri kaydedicisi (FDR) verileri yardımıyla uçakların LTO (iniş, kalkış, tırmanış ve yaklaşma) fazları için HC, CO ve NO_x emisyonlarını hesaplamıştır.

Bu çalışmada, IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) kılavuzunda yer alan “Enerji” başlığı altında, mobil kaynakların neden olduğu emisyonlar bölümünün içeriğinden yararlanılmıştır. Enerji sistemlerinden kaynaklanan emisyon envanterinde CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO ve NMVOC (Metan haricindeki uçucu organik karbon) ile beraber SO_2 emisyonu gibi doğrudan ve dolaylı sera gazı özelliği gösteren emisyonlar hesaplanmaktadır. Enerji sistemlerindeki emisyonlar, yakıtın yanmasından kaynaklanan emisyonlar ve kaçak emisyonlar olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Alt başlık olan ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonlar doğrudan yakıtın yanmasıyla ilgilidir. CO_2 gazından farklı olarak, CH_4 , N_2O , NO_x , CO ve NMVOC (Metan haricindeki uçucu organik karbon) gazlarının hesabında daha detaylı bilgiye gerek duyulmaktadır. Yanma koşulları, teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi çeşitli faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu aşamada “Tier” kavramları ön plana çıkmaktadır. Emisyonları hesaplama metodları “Tier” şeklinde ifade edilen çeşitli seviyede bölümlere ayrılmıştır. Burada seviyeyi belirleyen faaliyet ve teknoloji detaylarıdır. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntemken, Tier 2 metodu ise daha fazla veri içeren kapsamlı bir yöntemdir (IPCC, 2006)

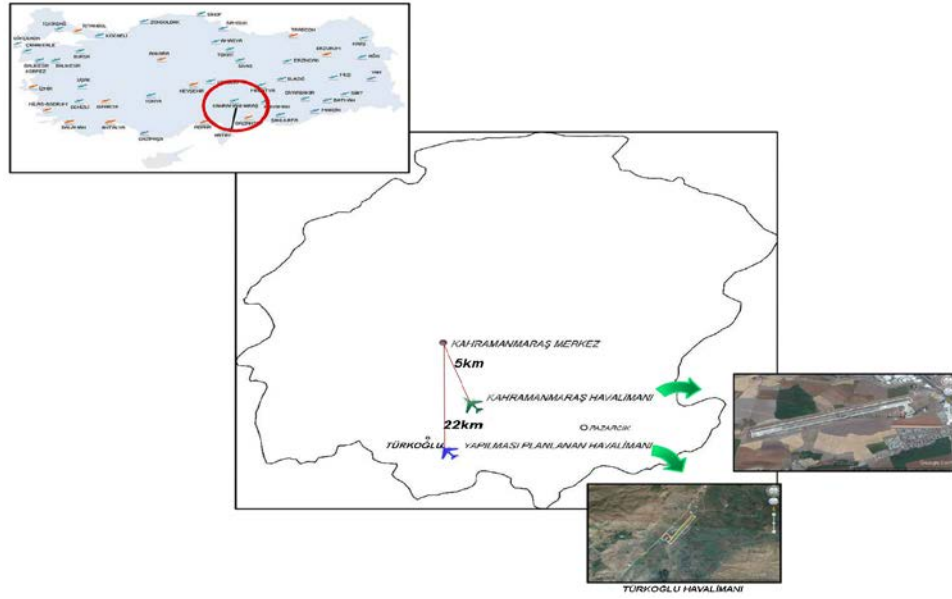
Bu çalışma ile Kahramanmaraş Havalimanında uçakların LTO (iniş/kalkış) esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları (CO_2 , CH_4 , N_2O) ve hava kirleticileri (CO, NO_x , SO_2 , NMVOC) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change/ Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş metodolojiye göre tahmin edilmiştir.

2. METOD

2.1. Çalışma Alanı

Kahramanmaraş ili sahip olduğu 1,2 milyon nüfus ile on sekizinci 14,346 km²’lik yüzölçümü ile Türkiye’nin on birinci büyük ili durumundadır. 37–38 kuzey paralelleri ile 36-37 doğu meridyenleri arasında yer almaktadır (TUIK, 2017) Kahramanmaraş ili Akdeniz Bölgesinin doğusunda bulunmakta ve hem kara hem de demir yolu ulaşımında güneyden ve Akdeniz’den gelen yolları doğuya ve kuzeye bağlayan önemli bir konumda yer almaktadır. Kahramanmaraş’ın havayolu ulaşımını sağlayan Kahramanmaraş Havalimanı, 1996 yılında DHMİ Genel Müdürlüğü tarafından hizmete açılmıştır. Bağlı bulunduğu DHMİ Genel Müdürlüğünün ana statüsüne göre faaliyetini Kamu İktisadi Kuruluşu olarak sürdürmektedir ve Sivil Havalimanı olarak faaliyet göstermektedir (DHMİ, 2017)

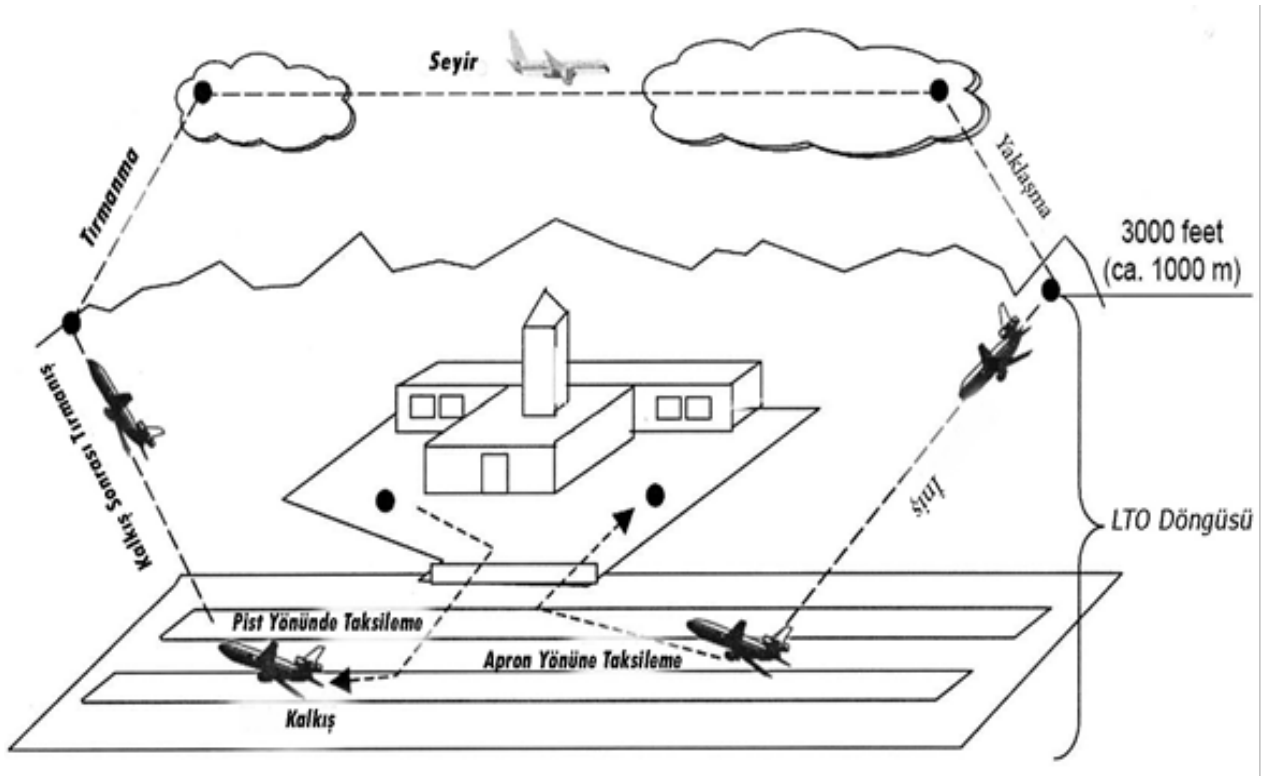
Kahramanmaraş Havalimanı, Kahramanmaraş’ın güneydoğusunda Gaziantep- Pazarcık çevre yolu üzerinde şehir merkezine 5 km uzaklıktadır. Yapılması planlanan havalimanı (Türkoğlu Havalimanı) ise Türkoğlu ilçesinde şehir merkezine 22 km uzaklıkta yer almaktadır (şekil 1). Kahramanmaraş Havalimanının bulunduğu yerleşim alanı 1.100.000 m²’dir. 07*25 pisti 2300*45 boyutunda kompozit kaplamaya sahiptir. Yolcuya açık alanlar 540 m² olup otopark araç kapasitesi 40’dır. Coğrafi Koordinatları 37° 32’ 18” N, 36° 57’ 7” E’dir (DHMİ, 2017).



Şekil 1. Kahramanmaraş Havalimanı ve Türkoğlu Havalimanı Konumu

2.2. Emisyonların Belirlenmesi

Uçak faaliyetleri LTO (İniş/Kalkış) ve Seyir (Cruise) faaliyetleri olmak üzere iki kısımdan oluşur. LTO safhası 1000 m altındaki tüm faaliyetleri içerir. Bu faaliyetler; kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi aşamalarını içerir. Seyir ise 1000 m üstündeki tüm faaliyetleri ve tırmanma aşamasının sonundan iniş aşamasına kadar olan faaliyetleri kapsamaktadır (şekil 2)



Şekil 2. LTO Döngüsü (IPCC, 1997)

Emisyon hesaplamaları IPCC metodolojileri tarafından belirlenmiş Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarına göre değerlendirilmiştir. IPCC Kılavuzu 3 kitaptan oluşmaktadır. Birinci kitap, ulusal envanter oluşturmak için, adım adım nasıl veri toplanacağı, bu verilerin nasıl değerlendirileceği ve elde edilen sonuçların en son adımda nasıl bildirileceğini içeren raporlama bilgilerini içermektedir. İkinci kitap, raporlamada kullanılacak olan tabloları içeren ve hesaplamaların nasıl yapılacağını gösteren bir çalışma kitabıdır. Üçüncü kitap ise kullanılacak metodları anlatan, ortalama değerleri içeren referans kitabıdır. Sera gazı envanter hesaplamaları; enerji, endüstriyel işlemler, solvent ve diğer ürünlerin kullanımı, tarım, yeryüzü coğrafyası ve atıklar başlıkları adı altında incelenmiştir. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonlar enerji başlığı altında incelenmiştir. Yanma koşulları, teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi faktörlerin hesaplanabilmesi için Tier kavramları ortaya çıkmıştır. Tier metodu çeşitli seviyelerde bölümlere ayrılmıştır. Faaliyet ve teknoloji detaylarına göre seviyeler (Tier 1 ve Tier 2) belirlenmiştir.

Tier 1 metodu, 1 nolu eşitlikte gösterildiği gibi havacılıkta LTO (iniş/ kalkış) ve seyir (cruise) faaliyetlerinde tüketilen yakıt miktarının ortalama emisyon faktörleriyle çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Emisyon miktarı} = \text{EF} * \text{Yakıt Tüketimi} \quad (1)$$

Havacılıkta kullanılan yakıtın % 1 den daha az kısmı uçak benzininden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar yaygın olarak kullanılan jet yakıtına göre yapılmaktadır.

Tier 2 metodu ise sadece jet yakıt kullanan jet motorlu uçaklar için kullanılmaktadır. Tier 2 metodunda uçak işletimleri LTO ve seyir aşamaları olarak 2 aşamaya ayrılmaktadır. Tier 2 metodunun uygulanabilmesi için LTO sayısı ve uçak türlerinin bilinmesi gereklidir. 2016 yılına ait uçak çeşitleri ve uçaklara ait LTO sayıları Kahramanmaraş DHMİ' den alınarak IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006) da yer alan emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi değerleri (Tablo 1) ile çarpılmasıyla 2 nolu denkleme göre emisyon miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO sayısı} * \text{LTO emisyon faktörü} \quad (2)$$

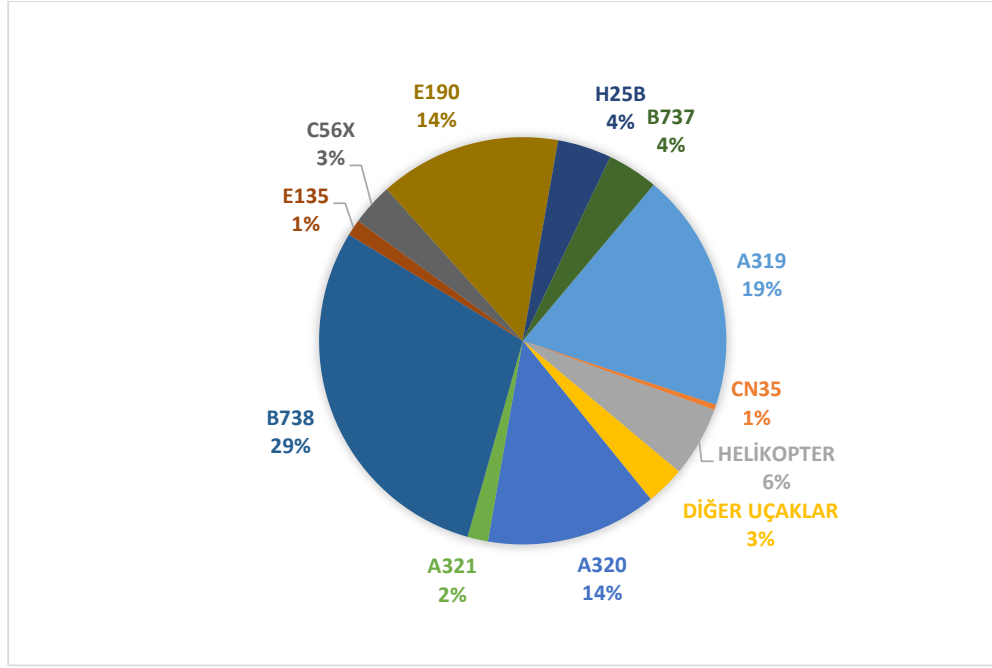
Tablo 1. Uçak Tiplerine Göre IPCC Emisyon Faktörleri (IPCC,2006)

| Uçak Tipi | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | NMVOC | SO ₂ | Yakıt Tüketimi (kg/LTO) |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------|-------|-----------------|-------------------------|
| A319 | 2310 | 0,06 | 0,1 | 8,73 | 6,35 | 0,54 | 0,73 | 730 |
| A320 | 2440 | 0,06 | 0,1 | 9,01 | 6,19 | 0,51 | 0,77 | 770 |
| A321 | 3020 | 0,14 | 0,1 | 16,72 | 7,55 | 1,27 | 0,96 | 960 |
| B738 | 2780 | 0,07 | 0,1 | 12,30 | 7,07 | 0,65 | 0,88 | 880 |
| GLF4 | 2160 | 0,14 | 0,1 | 5,63 | 8,88 | 1,23 | 0,68 | 680 |

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

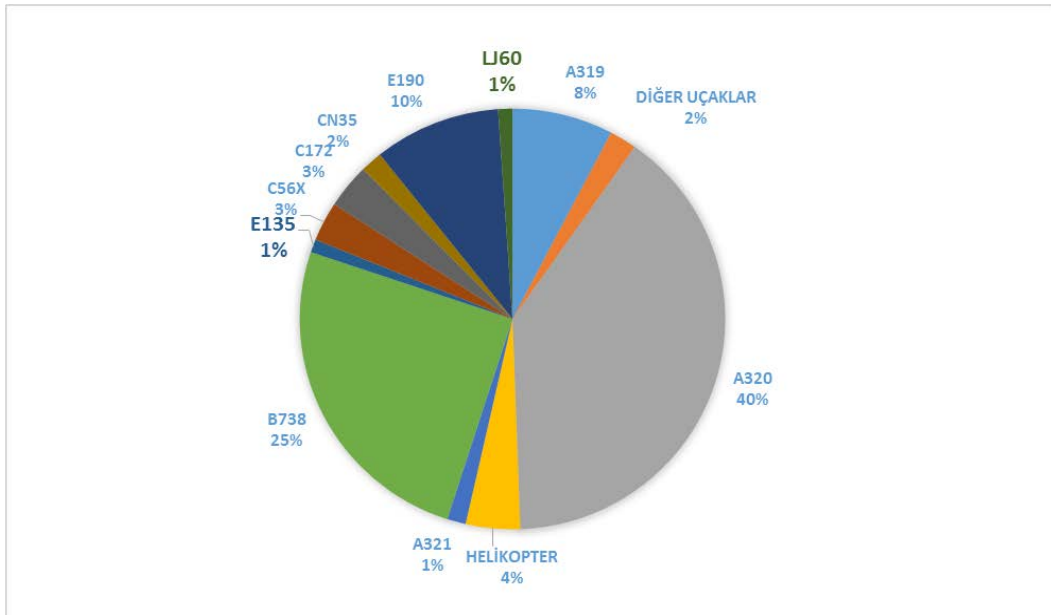
3.1. Hava Trafikliği

DHMİ Kahramanmaraş Havalimanından alınan verilere göre 2015 yılında Kahramanmaraş Havalimanına iniş/ kalkış (LTO) yapan uçak sayısı 2330 iken 2016 yılında 2393'e yükselmiştir. Bu verilere göre 2015- 2016 yılları arasında LTO sayısı bakımından % 2,7'lik bir artış söz konusudur. 2015 yılında LTO sayıları uçak tiplerine göre incelendiğinde (şekil 3) Boeing 737-800 (738) serisi 684 LTO sayısı ile Kahramanmaraş Havalimanına en fazla iniş kalkış yapan uçak olmuştur.



Şekil 3. 2015 yılında Kahramanmaraş Havalimanında LTO sayılarına göre uçak tiplerinin dağılımı (DHMİ, 2017)

2016 yılında LTO sayıları uçak tiplerine göre incelendiğinde (şekil 4) Airbus 320 tipi uçak 951 LTO sayısı ile Kahramanmaraş Havalimanına en fazla iniş/ kalkış yapan uçak olmuştur.



Şekil 4. 2016 yılında Kahramanmaraş Havalimanında LTO sayılarına göre uçak tiplerinin dağılımı (DHMİ, 2017)

3.2. Uçak Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada 2016 yılında Kahramanmaraş Havalimanında uçakların LTO (iniş/ kalkış) ve seyir esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları (CO_2 , CH_4 , N_2O) ve hava kirleticileri (CO , NO_x , SO_2 , NMVOC) IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) metodolojileriyle belirlenmiş Tier 2 yaklaşımına göre tahmin edilmiştir.

2016 yılında Kahramanmaraş Havalimanına iniş/ kalkış yapan uçakların çok az bir kısmını (%4) yakıt olarak benzin kullanan helikopterler oluşturmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar jet yakıt kullanan uçaklara göre yapılmıştır.

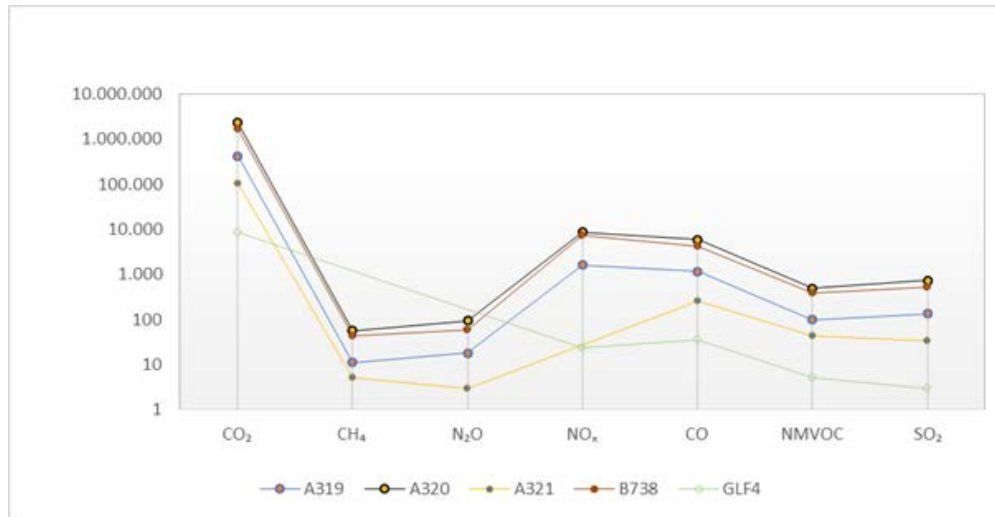
Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi IPCC 2006 kılavuzunda yer alan (Tablo 1) değerlerden alınmıştır. Kahramanmaraş Havalimanından alınan LTO sayılarına ait veriler kullanılarak 2 nolu denkleme göre emisyon miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Tablo 2' de gösterilmekte olan emisyon miktarları elde edilmiştir.

Tablo 2. 2016 Yılında LTO sayıları, Emisyon Değerleri ve LTO safhasındaki Yakıt Tüketimi (IPCC, 2006)

| Uçak Tipi | LTO Sayısı | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | NMVOC | SO ₂ | Yakıt Tüketimi (kg) |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|---------------------|
| A319 | 184 | 425,040 | 11 | 18 | 1,606 | 1,168 | 99 | 134 | 134,320 |
| A320 | 951 | 2,320,440 | 57 | 95 | 8,568 | 5,886 | 485 | 732 | 732,270 |
| A321 | 34 | 102,680 | 5 | 3 | 568,48 | 257 | 43 | 33 | 32,640 |
| B738 | 604 | 1,679,120 | 43 | 60 | 7,429 | 4,270 | 393 | 532 | 531,520 |
| GLF4 | 4 | 8,640 | 0 | 0 | 23 | 36 | 5 | 3 | 2720 |

Yapılan hesaplamalar sonucunda 2016 yılında en fazla emisyon oluşturan uçak tipinin Airbus 320 (A320) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. A320 tipi uçağın emisyon faktörü (Tablo 1) Boeing 737-800 (738) ve Airbus 321 (A321) uçak türlerine göre daha düşük olmasına rağmen, LTO sayısının diğer uçaklardan fazla olması emisyon miktarının daha fazla olmasına neden olmuştur.

Tablo 2’de elde edilen sonuçlara göre şekil 5’ te gösterilmekte olan grafik elde edilmiştir. Emisyon miktarları uçak türlerine göre farklılık gösterse de oluşan emisyon türleri bakımından CO₂, NO_x, CO ve SO₂ emisyonları N₂O, CH₄ ve NMVOC emisyonlarına göre her zaman daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmektedir (şekil 5).

**Şekil 5.** Uçak tiplerine göre emisyon miktarları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

2015 -2016 yılları arasında Kahramanmaraş Havalimanı'nın hava trafiğinde meydana gelen % 2,7'lik artış miktarının gelecek yıllarda Türkoğlu havalimanının yapılmasıyla beraber artacağı tahmin edilmektedir. Bu artışa paralel olarak uçaklardan kaynaklanan emisyon miktarlarının da artması beklenmektedir. Bu nedenle gelecek yıllarda emisyonların hava kalitesi üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik teknolojik stratejilerin geliştirilebilmesi emisyon miktarlarının doğru bir şekilde tespit edilebilmesine ve sağlıklı ve güncel envanter verilerine bağlıdır. IPCC kılavuzunda yer alan uçak tiplerinin ve sahip olduğu emisyon faktörlerinin eksik olması hesaplamalarda kesin sonuca ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmaların yapılması emisyon miktarlarının daha doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR

Carslaw, D.C., Beevers, S.D., Ropkins, K., Bell, M.C. (2006). Detecting and Quantifying Aircraft and Other On Airport Contributions To Ambient Nitrogen Oxides in the Vicinity of a Large International Airport. *Atmospheric Environment*. 40, 5424–5434.

Ekici, S., Yalin, G., Altuntaş, O., Karakoç, T.H. (2013). Calculation of HC, CO and NO_x from Civil Aviation in Turkey in 2012. *International Journal of Environment and Pollution*. 53, 232–244.

Elbir, T. (2008). Estimation of Engine Emissions From Commercial Aircraft at a Midsized Turkish Airport, *Journal of Environmental Engineering* . 134, 210-215.

Hsu, H.H., Adamkiewicz, G., Houseman, E.A., Vallarino, J., Melly S.J., Wayson, R.L., Spengler, J.D., Levy, J.I. (2012). The Relationship Between Aviation Activities and Ultrafine Particulate Matter Concentrations Near a Mid-Sized Airport. *Atmospheric Environment*. 50, 328–337.

IPCC., (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II :Workbook ,Chapter 1pp 3-23

Kesgin, U. (2006). Aircraft Emissions at Turkish Airports. *Energy* 31, 372–384.

Pecorari, E., Mantovani, A., Franceschini, C., Bassano, D., Palmeri, L., Rampazzo, G. (2016). Analysis of the effects of the meteorology on aircraft exhaust dispersion and deposition using a Lagrangian particle model. *Science of the Total Environment*. 541, 839-856.

Schürmann, G., Schafer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E., Rappengluck, B. (2007). The Impact of NO_x, CO and VOC Emissions on the Air Quality of Zurich Airport. *Atmospheric Environment*. 41, 103-118.

Song, K.S., Shon, H.Z., Kong, Y.H. (2015). Comparison of impacts aircraft emissions within the boundary layer on the regional ozone in South Korea. 117, 169- 179

Song, S-H., Shon Z-H. (2012). Emissions of greenhouse gases and air pollutants from commercial aircraft at international airports in Korea. *Atmospheric Environment*. 61, 48-58.

Unger, N., Zhao, Y., Dang, Y. (2013) Mid-21st century chemical forcing of climate by the civil aviation sector. *Geophysical Research Letters*. 40, 641–645.

URL-1: <http://www.guncelakademi.com/tuik-2017-nufus-sayisi-ne-oldu--h1020.html/> Erişim Tarihi: 31.01.2017

URL-2: <http://www.kahramanmaras.dhmi.gov.tr/> Erişim Tarihi : 07.2017