

## EJONS

International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

(Uluslararası Fen, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

<https://ejons.org/index.php/ejons>

e-ISSN: 2602 - 4136

Araştırma Makalesi

Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10813158>

## Kütahya Zafer Havalimanını Kullanan Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonlar

Yusuf YILMAZ<sup>1,\*</sup>, Rasim BEHÇET<sup>2</sup><sup>1</sup>İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya, Battalgazi, 44280<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Battalgazi, 44280

Sorumlu Yazar: ylmzysf92@gmail.com

### Makale Tarihiçesi

Geliş: 15.02.2024

Kabul: 14.03.2024

### Anahtar Kelimeler

Kütahya Zafer Havalimanı,  
Uçak emisyonları,  
Uçak tipleri,  
LTO safhaları

**Öz:** Bu çalışmada, Kütahya Zafer Havalimanı'na 2022 yılında iniş ve kalkış yapan uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerini incelemeyi hedeflenmiştir. Bu amaçla, 2022 yılı içinde havalimanına varan ve havalimanından kalkan uçaklardan yayılan CO<sub>2</sub>, HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları, IPCC metodolojisi ve Tier 2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, havalimanına iniş ve kalkış yapan sivil uçak türlerine göre LTO (Landing and Take Off) sayıları, uçuş aşamalarına göre CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub> emisyon değerleri ve LTO sayılarına bağlı olarak yakıt tüketimleri belirlenerek incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 2022 yılı içinde en fazla LTO sayısına sahip olan B738 model uçak için ilgili emisyonların toplam değerleri içinde CO<sub>2</sub> oranı %55, HC oranı %31, CO oranı %46 ve NO<sub>x</sub> oranı %59 olarak kaydedilmiştir. Ek olarak, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların çevreye saldırdığı yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 1873,039 ton, HC emisyonu 0,877 ton, CO emisyonu miktarı 5,825 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı 7,848 ton olarak belirlenmiştir.

**Atf Künyesi:** Yılmaz, Y. & Behçet, R. (2024). Kütahya Zafer Havalimanını Kullanan Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonlar, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences 8(1): 66-75. **How To Cite:** Yılmaz, Y. & Behçet R. (2024). Emissions From Airplanes Using Kütahya Zafer Airport, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences 8(1) :66-75.

## Emissions From Airplanes Using Kütahya Zafer Airport

### Article Info

Received: 15.02.2024

Accepted: 14.03.2024

**Abstract:** This research aims to examine the environmental effects of emissions from aircraft landing and taking off at Kütahya Zafer Airport in 2022. In line with this target, CO<sub>2</sub>, HC, CO and NO<sub>x</sub> emissions from aircraft arriving at and departing from the airport in 2022 were calculated using the IPCC methodology and Tier 2 method. In the calculations, LTO (Landing and Take

## Keywords

Kütahya Zafer Airport,  
Aircraft emissions,  
Aircraft types,  
LTO phases.

Off) numbers according to civil aircraft types landing and taking off from the airport, CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub> emission values according to flight stages and fuel consumption depending on LTO numbers were determined and examined. According to the findings, the most For the B738 model aircraft with a high LTO number, the CO<sub>2</sub> ratio was recorded as 55%, the HC ratio was 31%, the CO ratio was 46% and the NO<sub>x</sub> ratio was 59% in the total values of the relevant emissions. In addition, the annual total amount of CO<sub>2</sub> emissions released into the environment by aircraft using Kütahya Zafer Airport in 2022 was determined as 1873,039 tons, HC emissions as 0.877 tons, CO emissions as 5,825 tons and NO<sub>x</sub> emissions as 7,848 tons.

## 1. Giriş

Araçlar, insanların yaşamını kolaylaştırırken aynı zamanda çevreye saldıgı emisyonlar ile insan sağlığına olumsuz etkiler getirmektedir. Taşıt kaynaklı çevresel sorunlar, nüfus artışıyla paralel olarak artan araç sayısı ile birlikte giderek büyümektedir. Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının büyük çoğunluğu fosil kaynaklı olduğundan, taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları çevre havasını kirleterek canlıların yaşamında olumsuz etkilere neden olmaktadır. Geçmişte, emisyonların büyük bir kısmı karayolu taşıtlarından kaynaklanırken, günümüzde hava yolu taşımacılığına olan talebin artmasıyla birlikte uçak kaynaklı emisyonlarda da artış yaşanmaya başlamıştır. Havayolu taşımacılığı, artan nüfusla birlikte her geçen gün büyüyen ve gelişen bir ulaşım sektörüdür. Hava limanlarına yakın bölgelerde özellikle uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerini araştırmak, önemli bir konudur. Günümüzde kullanılan taşıtların büyük bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlarla çalışmaktadır. Fosil yakıtları oluşturan hidrokarbonların taşıt motorlarında yanması sırasında, motor yapılarındaki sorunlar ve yakıtların havanın özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle tam bir yanma gerçekleşmemektedir. Tam yanma olmadığı için, özellikle yanmamış hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) dahil olmak üzere karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) gibi bir dizi emisyon, taşıt egzozlarından atmosfere salınarak çevre havasını kirletmektedir.

Yeryüzünü kaplayan gazların karışımı olarak tanımlanan atmosferdeki kuru temiz hava, %78,09 azot, %20,94 oksijen, %0,93 argon, %0,03 karbondioksit, %0,01 su buharı, neon, helyum gibi diğer gazları içermektedir. Bu gaz karışımından azot ve oksijen, belirtilen oranlarda sürekli olarak bulunarak canlıların yaşamını sürdürebilmesi için kritik bir denge unsurudur (Anonim, 2021).

Hava kirliliği, atmosferde bulunan gazların miktarının değişmesi ve istenmeyen yabancı maddelerin havaya karışarak hava kalitesini bozması sonucu, insanları ve diğer canlıları olumsuz etkileyen bir durumu ifade eder (Şahin, 1987). Havacılık faaliyetleri, uçakların yerde ve havada hareketi sırasında ortaya çıkan gazlar ve partiküllerle insan sağlığını tehdit eden hava kirliliğine neden olmaktadır (Turan, 2020).

Hava yolu taşımacılığında faaliyet gösteren taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır. Özellikle insan sağlığını tehdit eden bir bu zararlı maddeler havayı kirletmektedir. Dolayısıyla, canlılar tarafında solunan bu kirli hava telafisi mümkün olmayan sonuçlara sebep olabilmektedir. Taşıt kaynaklı emisyonların çevre ve canlılar üzerindeki etkisini araştırmak ve bu emisyonların zararlı etkilerini azaltmak amacıyla son zamanlarda birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Kesgin, 2001 yılında Türkiye'deki kırk havaalanı için belirlenen LTO döngüsündeki kirletici emisyonları hesaplamıştır. Kesgin'in araştırmaları, taksi süresinin iki dakika azaltılması durumunda kirletici emisyon miktarlarının %6 oranında düşebileceği sonucuna varmıştır. Schafer ve ekibi, 2003 yılında Frankfurt, Londra ve Viyana havaalanlarındaki uçak egzoz emisyonlarını uzaktan tespit yöntemini kullanarak inceledi. Yapılan ölçüm verilerine dayanarak, azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) veritabanında bildirilen değerlerden yaklaşık %50 daha yüksek olduğu sonucuna vardılar. Aynı çalışmada, uçak motorunun yaşı ve düzenli bakımların emisyon değerlerini etkileyebileceği belirtilmiştir. Gökçek ve Bekdemir tarafından 2004 yılında yürütülen bir araştırmada, Türkiye'nin en yoğun hava trafiğine sahip dört havalimanına ait (Atatürk Havalimanı, Esenboğa

Havalimanı, Adnan Menderes Havalimanı ve Antalya Havalimanı) uçak emisyonlarından kaynaklanan NO<sub>x</sub> gazlarının belirlenmesi için LTO döngüsü incelenmiştir. Babaoğlu ve Özgünoğlu tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, uçakların LTO döngüsünde yaydığı kirletici gazlar, IPCC yöntemi kullanılarak Tier yaklaşımı ile tahmin edildi. 2020 yılında yapılan bir çalışmada Türkiye iç hat uçuşlarından kaynaklanan emisyonları belirlemek amacıyla IPCC tarafından yayınlanan emisyon envanteri hazırlama kılavuzlarına başvurulmuş, LTO operasyonlarından kaynaklanan kirletici emisyonları hesaplanmıştır (Şekertekin, 2020). Genç ve Behçet tarafından yapılan çalışmada, Malatya Erhaç Havalimanı'na iniş ve kalkış yapan uçaklardan kaynaklanan emisyonların çevresel etkileri araştırılmıştır. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre Malatya Erhaç havalimanını kullanan uçakların çevre havaya saldıkları yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 15.420,18 ton, HC emisyonu miktarı 5,15 ton, CO emisyonu miktarı 42,41 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı ise 68,21 ton olduğu belirtilmiştir (Genç ve Behçet, 2022).

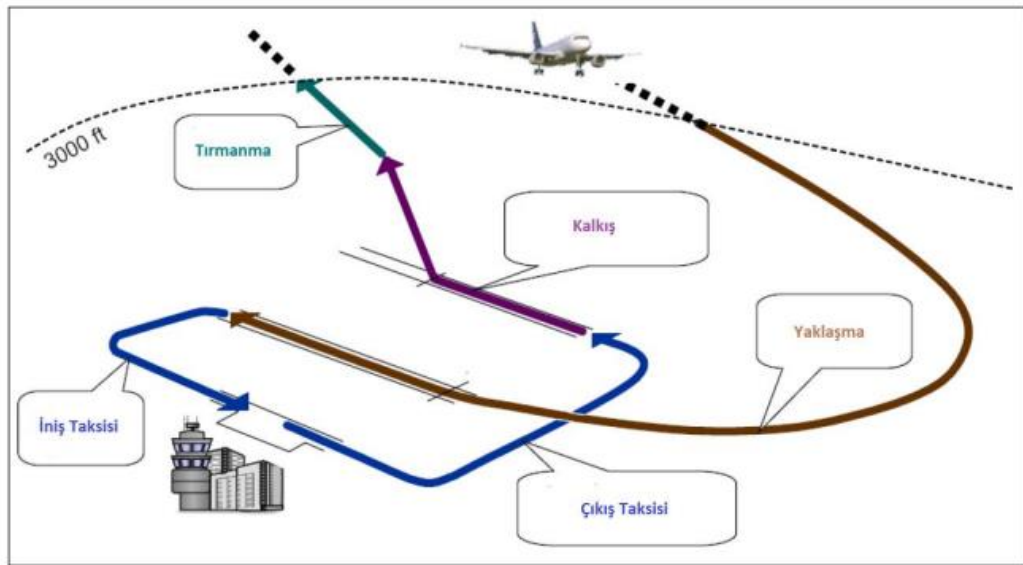
Bu çalışma, Kütahya Zafer Havalimanını kullanan farklı tür uçakların LTO sayılarına bağlı olarak 2022 yılında oluşan emisyon miktarlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bununla beraber, LTO sayılarına ve uçak tiplerine bağlı olarak tüketilen yakıt miktarları hesaplanarak havalimanına iniş ve kalkış yapan uçakların yaydığı emisyonlar (CO<sub>2</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub>) ve bu emisyonların çevre üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Türkiye'nin büyük şehirlerinden biri olan Kütahya ilinin ekonomisi, seramik ve çinicilik, dokumacılık, turizm, tarım, hayvancılık ve sanayiye dayalıdır. Bu sebep ile Kütahya Zafer Havalimanı yoğun bir uçuş trafiğine sahip olduğu ifade edilebilir. Uçakların havaalanı ve çevresine saldırdığı kirletici emisyonlar, ICAO tarafından yayınlanan motor egzoz emisyonlarına ilişkin veriler ve LTO döngüsü kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yöntemindeki girdiler, uçuş fazlarına, bu fazlardaki geçen süreler ve itki gücü ayarına bağlı olarak LTO döngüsündeki uçuş aşamalarını içermekte olup aynı zamanda motor egzoz emisyon veri bankasındaki yakıt akış oranlarına ve emisyon belirli veri tabanlarındaki referanslara dayanmaktadır.

### 2.1. LTO (LandingandTakeOff) Döngüsü

Uçak emisyonlarını hesaplamak için kullanılan veriler, LTO (İniş ve Kalkış) sayılarıyla ifade edilir. Uçuş emisyonlarını değerlendirirken, uçakların 3000 feet yüksekliğinde gerçekleştirdiği iniş ve kalkışları temsil eden "LTO (Landingand Take-Off)" döngüsü, havacılık operasyonları sonucu oluşan emisyonları ifade etmektedir. (Turan, 2020). Şekil 1'de LTO döngüsünün aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 1: LTO (Landingandtake-off) döngüsü (Öztürk, 2011; Anonim, 2021)

Kalkış taksisi (taksi-out), kalkış (take-off), tırmanma (climb), yaklaşma (approach) ve iniş taksisi (taksi-in) adımlarını içeren döngü, LTO döngüsü olarak bilinir. Uçağın park pozisyonundan hareket edip uçuş pistine ulaşmasını içeren aşamalara kalkış taksisi denir. Uçağın pistten havalandığı ve tekerlekleri kesene kadar olan süre kalkış aşamasını oluşturur. Kalkış sonrası 3000 feet (1000 metre) yüksekliğe kadar geçen süre tırmanma aşaması olarak adlandırılır. Pist üzerine iniş yaparak pistin sonuna kadar olan süre yaklaşma aşamasını temsil eder. Pist sonundan park alanına kadar geçen süre ise iniş taksisi aşaması olarak tanımlanır. LTO döngüsü, iki farklı itki durumunda gerçekleştirilir.

**Tablo 1:** Referans alınacak LTO döngüsü (Anonim, 2021)

LTO Aşaması	Zaman (dk.)	İtki Gücü (%)
Çıkış Taksisi (Taksi -out)	19	7
Kalkış (Take -off)	0,7	100
Tırmanma (Climb)	2,2	85
Yaklaşma (Approach)	4	30
İniş Taksisi (Taksi -in)	7	7

## 2.2. IPCC Metodolojisi

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) 1972'de kurulmuştur; Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ise 1950'de kurulmuştur. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) ise 1988'de, bu iki uluslararası platformun birleşimiyle kurulmuştur. IPCC'nin temel hedefi, iklim değişikliğiyle ilgili bilimsel bulguları raporlamaktır. Bu raporlar aracılığıyla, iklim değişikliği sorununun uluslararası düzeyde ele alınabileceği bir zemin oluşturulması amaçlanmaktadır.

Havacılık sektöründeki emisyon envanteri, IPCC'nin rehberlerine dayanarak oluşturulmaktadır. IPCC, havacılık sektöründen kaynaklanan emisyonları hesaplamak için 2006 yılında yayımlanan Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu'nun Enerji başlıklı ikinci cildinin Mobil Yanma alt bölümündeki Sivil Havacılık konusundan yararlanılarak belirlenir (Ünal ve ark., 2014; Anonim, 2021).

## 2.3. IPCC Emisyon Hesaplama Yöntemleri

Uçakların egzoz emisyonları, üç farklı kritere dayanarak çeşitlenmektedir. Bu yaklaşımlar, temel, gelişmiş ve ayrıntılı olarak tasarlanmış uçak emisyonlarına dair IPCC tarafından sunulan "Tier Yaklaşımları" ile tanımlanmaktadır. Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olarak üç ayrı evreden oluşmaktadır.(Pekin, 2006).

Tier 1 yöntemi, uçakların motorlarının uçuş periyodu boyunca çalışması sonucu tüketilen yakıtın yanmasıyla oluşan emisyonları hesaplamayı içerir. Yakıt miktarı doğrudan gözlemlenebilir. Hesaplama süreci, iç ve dış hatlarda tüketilen toplam yakıt miktarı ile LTO sayısı arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Tier 1 yaklaşımında, LTO döngüsü ve uçuş sırasındaki yakıt tüketiminin emisyon faktörü ile çarpılmasıyla emisyon miktarı hesaplanmaktadır.(Babaoğlu ve Özgünoğlu, 2017).

$$\text{Emisyon Miktarı (E)} = \text{Kullanılan Yakıt Miktarı (F)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)}$$

Tier 2 yöntemi, farklı uçuş koşullarındaki LTO döngüsü ile uçak emisyonlarını hesaplamayı amaçlar. Uçuş sırasında 3000 feet yükseklikteki seyir faaliyetleri dikkate alınmayıp, iniş ve kalkış sayısı ile farklı uçak motorları dikkate alınır. Tier 2 metodu formülü aşağıda verilmiştir.(Kumaş ve ark., 2019).

$$\text{Emisyon Miktarı (E)} = \text{İniş ve Kalkış Sayısı (LTO)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)}$$

Hesaplamalarda kullanılan LTO (Landing and Take-Off) döngüsüne ve uçak tiplerine göre emisyon faktörleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Tier 3 yöntemi, diğer yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı hesaplamalarla yaklaşır ve daha detaylı sonuçlar sunar. Bu sebeple daha geniş verilere dayanmaktadır. Bu metot için, uçuşun gerçekleşeceği havalimanlarının özellikleri, kullanılacak motor tipi ve uçuş mesafesi gerekmektedir. Uçuşun özellikleri, havalimanı bilgileri ve uçakta kullanılan motor tipi ile ilişkilendirilerek emisyon faktörleri oluşturulur. Uçuş şartlarındaki değişiklikler, emisyon miktarında çeşitliliğe yol açar.

Tier 3 metodolojisi, Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre daha detaylı bir hesaplama yöntemi sunmaktadır, bu nedenle daha kapsamlı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bir uçuşun emisyon miktarlarını belirlemek için uçağın kullanılan motor bilgilerine ek olarak, kalkış ve iniş yapılacak havaalanı bilgileri gereklidir. Ayrıca, uçuşun aşamaları, güzergah mesafeleri ve kullanılan motor tipi gibi faktörler de emisyon miktarlarının belirlenmesinde etkilidir. Bu nedenle, emisyon miktarları farklı uçuş aşamalarında değişkenlik gösterir. (Anonim, 2021).

**Tablo 2:** Uçak tipleri ve motor modellerine göre emisyon faktörleri

Uçak Tipi	Üretici Firma	Motor Kimliği	Motor Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	AIRBUS	CFM56-5B5/P	2	688.00	2,169.76	7.46	0.58	847.24	9.49	1.96	0.06
A320	AIRBUS	CFM56-5B4/P	2	816.17	2,570.93	11.28	0.69	1,003.89	8.25	1.64	0.07
A321	AIRBUS	CFM56-5B3/3	2	956.00	3,020.00	16.72	0.96	1,074.10	9.53	1.42	0.09
B734	BOEING	CFM56-7B26	2	881.10	2,775.47	12.30	0.74	1,083.75	7.07	0.72	0.07
B738	BOEING	CFM56-7B26	2	881.10	2,775.47	12.30	0.74	1,083.75	7.07	0.72	0.07
B739	BOEING	CFM56-7B26	2	882.00	2,780.00	12.29	0.88	1,089.60	7.07	0.72	0.08

Tier 3 yöntemi, diğer yöntemlere kıyasla daha ayrıntılı hesaplamalarla yaklaşır ve daha detaylı sonuçlar sunar. Bu sebeple daha geniş verilere dayanmaktadır. Bu metot için, uçuşun gerçekleşeceği havalimanlarının özellikleri, kullanılacak motor tipi ve uçuş mesafesi gerekmektedir. Uçuşun özellikleri, havalimanı bilgileri ve uçakta kullanılan motor tipi ile ilişkilendirilerek emisyon faktörleri oluşturulur. Uçuş şartlarındaki değişiklikler, emisyon miktarında çeşitliliğe yol açar.

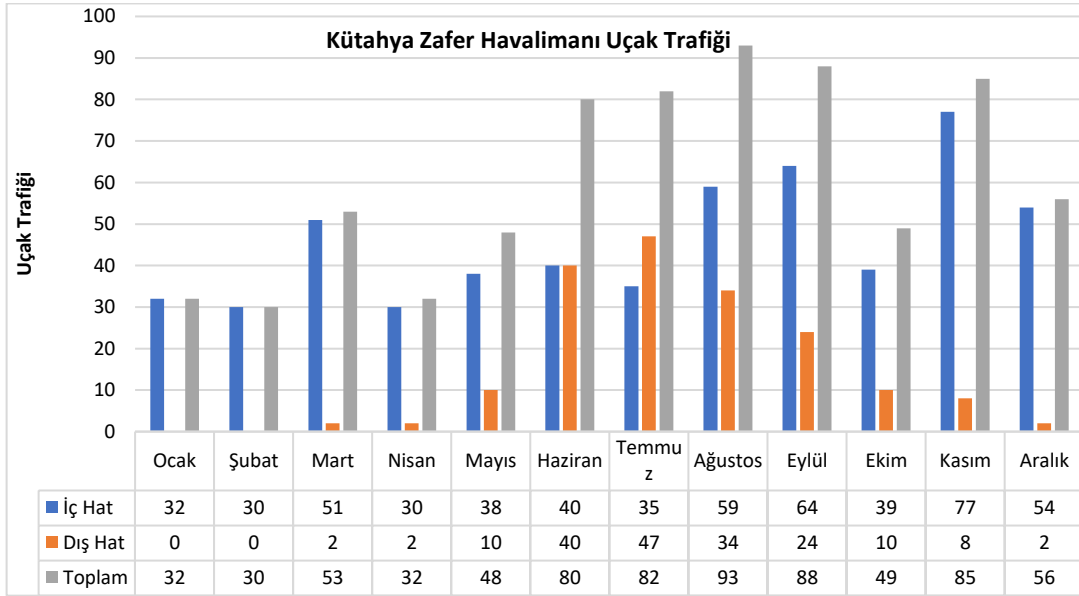
Tier 3 metodolojisi, Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre daha detaylı bir hesaplama yöntemi sunmaktadır, bu nedenle daha kapsamlı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bir uçuşun emisyon miktarlarını belirlemek için uçağın kullanılan motor bilgilerine ek olarak, kalkış ve iniş yapılacak havaalanı bilgileri gereklidir. Ayrıca, uçuşun aşamaları, güzergah mesafeleri ve kullanılan motor tipi gibi faktörler de emisyon miktarlarının belirlenmesinde etkilidir. Bu nedenle, emisyon miktarları farklı uçuş aşamalarında değişkenlik gösterir. (Anonim, 2021).

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Kütahya Zafer Havalimanını Kullanan Uçak Kaynaklı Emisyonlar

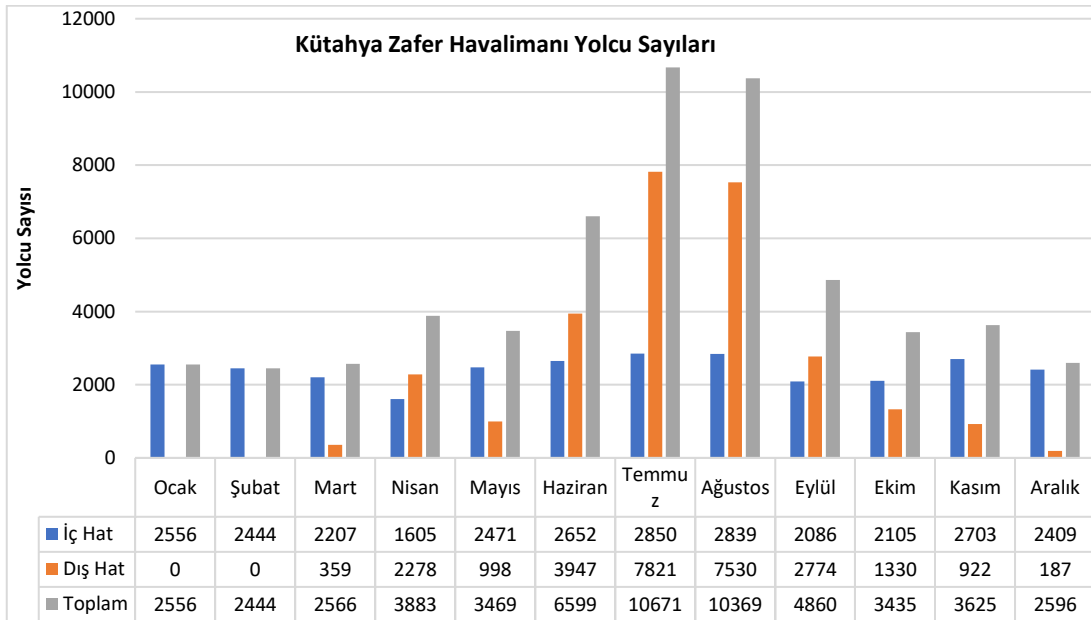
Bu bölümde, Kütahya Zafer Havalimanı'na ait 2022 yılına ait aylık uçak trafiği ve taşınan yolcu sayıları sunulmaktadır, LTO sayıları uçak tiplerine göre belirlenmiş ve her bir uçak tipi için uçuş aşamalarına bağlı olarak HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, LTO sayılarına göre CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O,

PM emisyonları ve uçakların tüketmiş oldukları yakıt miktarları da bu bölümde verilmiştir. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan ticari uçak tiplerinin sayısı 7 olarak belirtilmiş, en çok kullanılan uçak marka ve modellerinin ise Boeing 738 ve Airbus A319 olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2: Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği.

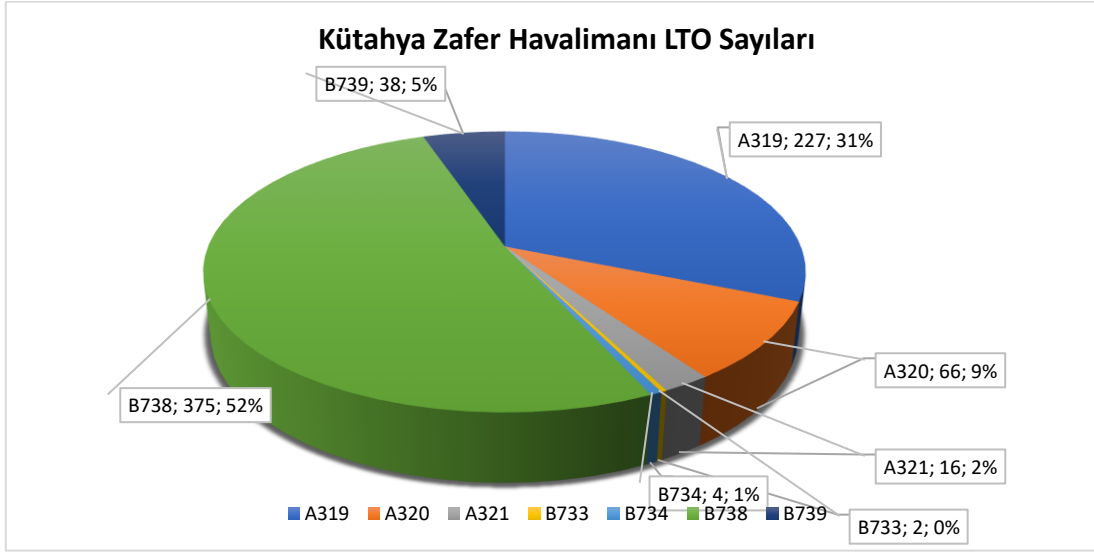
Şekil 2'de, Kütahya Zafer Havalimanı'nın 2022 yılına ait aylara göre iç hat, dış hat ve toplam uçak trafiği sayıları gösterilmektedir. Ocak ayı, 30 uçak trafiği ile LTO sayısında en düşük seviyededir, buna karşılık ağustos ayı 93 sefer sayısı ile LTO sayısında en yüksek seviyededir. 2022 yılında toplam iç hat sefer sayısı 549 adet, dış hat sefer sayısı 179 adet ve toplam uçak trafiği ise 728 adet olarak belirlenmiştir. Toplam uçak trafiği içinde dış hat uçak trafiğinin oranı ise %24'tür.



Şekil 3: Kütahya Zafer Havalimanı iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları

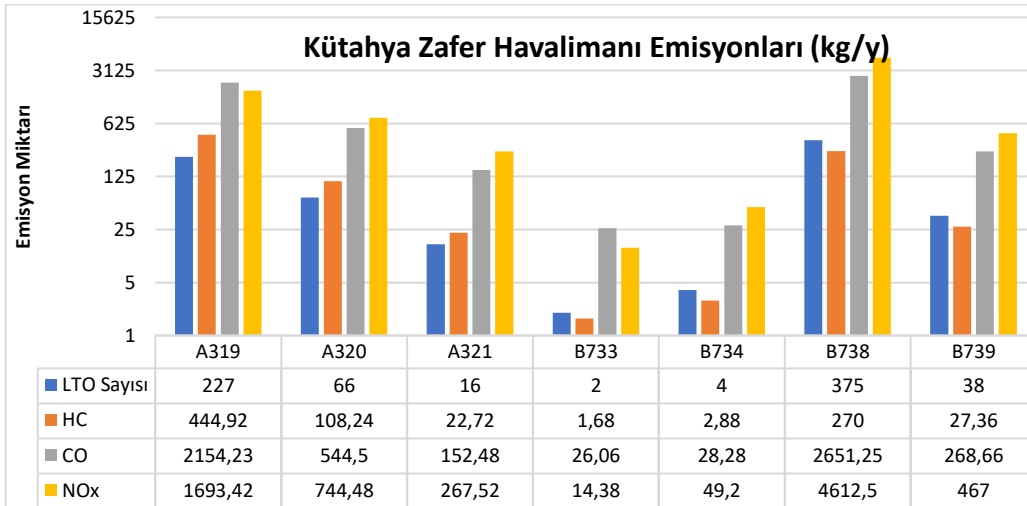
Şekil 3'te, 2022 yılına ait iç hat, dış hat ve toplam yolcu sayıları aylara göre sunulmuştur. Grafik üzerinde gözlemlendiğinde, Kütahya Zafer Havalimanı'nda iç hat yolcu sayısı 28927, dış hat yolcu sayısı 28146 ve toplam taşınan yolcu sayısının ise 57073 olduğu görülmektedir. Toplam iç hat yolcu sayısının

toplam yolcu sayısına oranı %50,68'dir. Ayrıca, 2022 yılında en fazla yolcunun taşındığı ay temmuz ayı olup 10671 yolcu sayısına ulaşmışken, en az yolcunun taşındığı ay şubat ayı olup 2444 yolcu sayısındır.



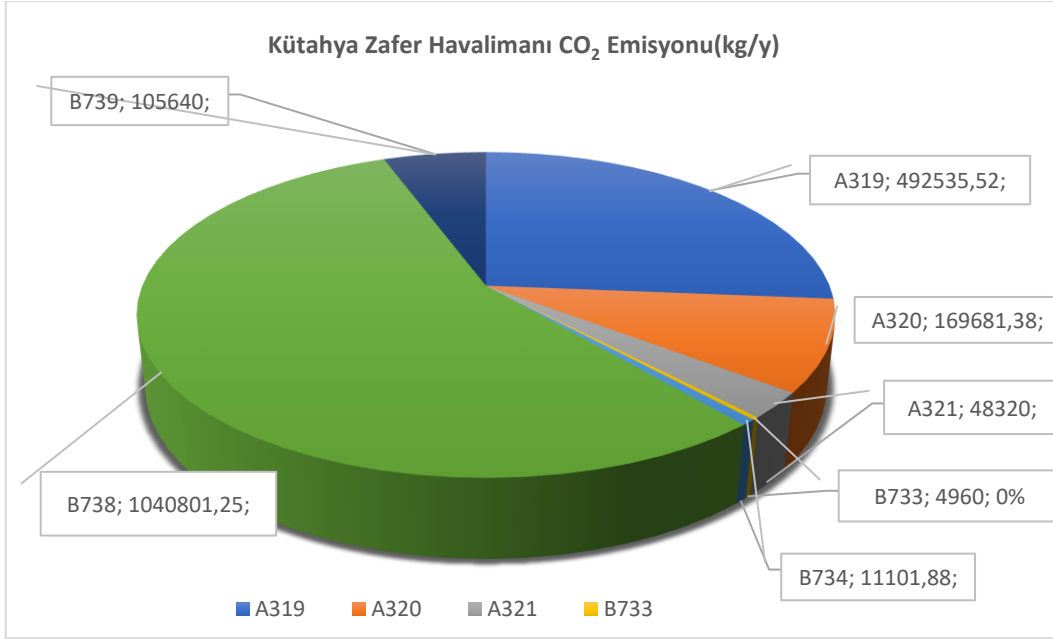
Şekil 4: Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre LTO sayıları

Şekil 4'te, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları gösterilmektedir. Grafik üzerinde incelendiğinde, Kütahya Zafer Havalimanı'na iniş/kalkış yapan uçakların büyük bir çoğunluğunu %52 oranında B738 tipi uçakların oluşturduğu görülmektedir. İkinci sırada %31 oranıyla A319 tipi uçaklar bulunmakta olup, en az LTO sayısına sahip uçak tipi ise B733 olarak belirlenmiştir.



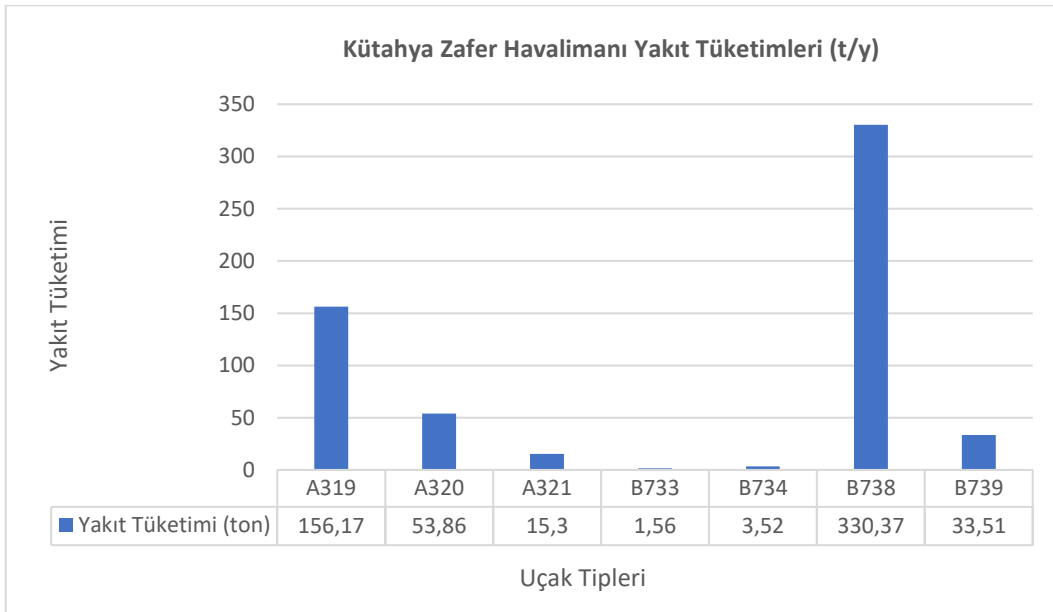
Şekil 5: Kütahya Zafer Havalimanı uçak tiplerine göre HC, CO ve NOx emisyon değerleri (kg/y)

Şekil 5'te, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre HC, CO ve NOx emisyonları kg/y cinsinden sunulmaktadır. Grafik üzerinde yapılan incelemede, tüm bu emisyon değerlerinin LTO sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Emisyon değerlerini etkileyebilen bir diğer faktör ise her bir uçak tipinin kullanmış olduğu motor modeline bağlı olarak belirlenmiş olan emisyon faktörleridir. En yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam ilgili emisyon değerleri içindeki HC oranı %30, CO oranı %45 ve NOx oranı %58 olarak hesaplanmıştır. 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların çevreye saldıkları toplam HC emisyonu 877,8 kg/y, CO emisyonu 5825,46 kg/y, NOx emisyonu ise 7848,5 kg/y olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6:** Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri (kg/yıl)

Şekil 6'da, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların tiplerine ve LTO sayılarına göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu kg/y cinsinden sunulmuştur. Grafik üzerinde yapılan incelemede, en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 tip uçak için toplam karbondioksit emisyonları içindeki CO<sub>2</sub> oranı %55, ikinci olarak en yüksek LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak için CO<sub>2</sub> oranı %26 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların çevreye saldıkları toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 1873039,78 kg/yıl olarak belirlenmiştir.



**Şekil 7:** Kütahya Zafer Havalimanı için uçak tipi ve LTO sayısına göre toplam yakıt tüketimleri (ton)

Şekil 7'de, 2022 yılında LTO sayılarına ve uçak tiplerine bağlı olarak tüketilen yakıt miktarları ton cinsinden gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 375 LTO sayısına göre %55 oranıyla en yüksek yakıt tüketimine sahip uçak tipi B738 olarak belirlenmiştir. İkinci sırada, en fazla LTO sayısına sahip olan A319 tipi uçak, %26'lık bir yakıt tüketim oranına sahiptir. Kütahya Zafer Havalimanı'nda 2022 yılında uçakların LTO aşamalarında toplamda tükettikleri yakıt miktarı 594,3 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.



**Tablo 3:** Kütahya Zafer Havalimanını kullanan uçak tiplerinin LTO sayısı ve yakıt tüketimlerine göre emisyon değerleri

Uçak Tipi	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	SO <sub>x</sub> (kg)	H <sub>2</sub> O (kg)	CO (kg)	HC (kg)	PM (kg)
A319	227	156170	492535,52	1693,42	131,66	192323,48	2154,23	444,92	136,2
A320	66	53860	169681,38	744,48	45,54	66256,74	544,5	108,24	4,62
A321	16	15300	48320	267,52	15,36	17185,6	152,48	22,72	1,44
B733	2	1560	4960	14,38	1,56	1965,6	26,06	1,68	0,2
B734	4	3520	11101,88	492	2,96	4335	28,28	2,88	0,28
B738	375	330370	1040801,2	4612,5	277,5	406406,25	2651,25	270	26,25
B739	38	33510	105640	467	33,44	41404,8	268,66	27,36	3,04

Tablo 3’de 2022 yılında Kütahya Zafer havalimanını kullanan uçakların tiplerine göre LTO sayıları, yakıt tüketimleri ve CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC ve PM emisyon değerleri toplu halde verilmiştir. Çizelgede görüleceği gibi LTO sayısı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri en yüksek olan uçak türü B738 iken belirtilen değerleri en düşük olan uçak türü ise B733 tür.

#### 4.Sonuç

Bu çalışma, 2022 yılında Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçaklardan kaynaklanan kirletici emisyonları değerlendirerek, başta CO<sub>2</sub>, CO, HC ve NO<sub>x</sub> olmak üzere hava kirliliğine neden olan tüm emisyonları içeren hesaplamaları içermektedir. Hesaplamalar, Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından kaydedilen uçuş verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uçakların iniş, kalkış ve taksi sürelerinin emisyonlara olan etkisini belirlemek için ICAO Motor Emisyon Veri Bankası'ndan elde edilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. 2022 yılı içinde Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan toplam iç hat yolcu sayısı 28,927, dış hat yolcu sayısı 28,146 ve toplam taşınan yolcu sayısı 57,073 olarak kaydedilmiştir. Yıl boyunca taşınan yolcu sayısı aylar itibarıyla benzer olmasına rağmen, en fazla yolcunun taşındığı ay temmuz ayı olup 10,671 yolcu ile gerçekleşirken, en az yolcunun taşındığı ay şubat ayı olup 2,444 yolcu ile kaydedilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 2022 yılında en yüksek LTO sayısına sahip olan B738 uçak modeli, 594,3 ton yakıt tüketerek çevreye en fazla emisyon salınımını gerçekleştirmiştir. Kütahya Zafer Havalimanı'nı kullanan uçakların yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 1873,039 ton, HC emisyonu miktarı 0,877 ton, CO emisyonu miktarı 5,825 ton ve NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı ise 7,848 ton olarak hesaplanmıştır. Bu emisyonların çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uçakların kalkışı, varış ve havalimanındaki park pozisyonuna dönüşü gibi tüm aşamaları, hava trafik kontrolörleri tarafından yönetilmektedir. Bu nedenle, uçakların yönlendirilmesi ve hareket sürelerinin etkin bir şekilde kullanılması, hava trafik yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Hava trafik yönetiminin daha etkin bir şekilde uygulanması, LTO sürelerinin kısaltılmasına katkı sağlayarak uçaklardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasına ve emisyon azaltım çalışmalarıyla birlikte gürültü kirliliğinin azaltılmasına olanak tanıyacaktır.

#### Teşekkür veya Açıklama

Bu çalışma; İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Bilim Alanı'nda yapmış olduğum yüksek lisans tezinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Danışmanım olan Prof. Dr. Rasim BEHÇET'e teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve bir an için bile desteğini esirgemeyen aileme ve çalışmalarımda emeği geçenlere içtenlikle, teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Anonim, 2021. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/> (Erişim Tarihi: 15.07.2021).
- Anonim, 2021. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>. TheIntergovernmental Panel on ClimateChange. [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustio\\_n.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustio_n.pdf). (Erişim Tarihi: 18.01.2021).
- Atabey T, 2013. Karbon ayak izinin hesaplanması. Diyarbakır örneği/The calculation of the carbon footprint. The city of Diyarbakır.
- Atalık A, 2005. Küresel Isınma, Su Kaynakları ve Tarım Üzerine Etkileri. Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Aydoğan B, 2008. Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOx Emisyonlarının ve NOx Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Babaoğlu N, Özgünoğlu K, 2017. Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 24-30.
- Canarlanlar AO, 2015. Hava Trafik Yönetiminin Uçaklarda Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkilerinin Gerçek Uçuş Verilerine Dayalı Analizi ve Bir Model Önerisi/Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Carslaw DC, Beevers SD, Ropkins K, Bell MC, 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 TH, 2013. Calculation of HC, CO and NOx 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.
- Genç R, Behçet R, 2022, Malatya Erhaç Havalimanını Kullanan Uçakların Çevresel Etkileri, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 22.
- Kesgin U, 2006. Aircraft emissions at Turkish airports, Energy 372-384
- Kumaş K, İnan O, Özhan A, Akyüz AÖ, Güngör A, 2019. Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak izinin Belirlenmesi. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(2): 291-297.
- Kutlar O, Ergeneman M, Arslan H, Mutlu M, 1998. Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özgünoğlu K, Uygur N, 2017. Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 24-30.
- Öztürk O, 2011. Kayseri Erkilet Havalimanındaki Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Pekin MA, 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schürmann G, Schafer K, Jahn C, Hoffmann H, Bauerfeind M, Fleuti E, Rappengluck B, 2007. The Impact of NOx, CO and VOC Emissions on the Air Quality of Zurich Airport. Atmospheric Environment, 41: 103-118.
- Şahin C, 1987. Gazi Üniversitesi/Eğitim Fakültesi, Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler, Ankara.
- Şekertekin Y, 2017. Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi/Yüksek Lisans Tezi. Bülent Ecevit Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Tokgöz MA, 2019. Motorlu Kara Taşıtlarında Karbon Dioksit ve Hava Kirletici Emisyonlarının Tarihsel Gelişimi ve Elektrikli Araçlara Geçiş ile Sağlanabilecek Potansiyel Emisyon Azaltımları/Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Medeniyet Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Turan P, 2020. Yeşil Havalimanı Kapsamında Sera Gazı Emisyonları / İstanbul Havalimanı Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi-Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- Turgut ET, 2019. Anadolu Üniversitesi-Havacılık Yönetimi-Ünite 7. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Ünal İT, Türkoğlu F, Doğan B, 2014. Nevşehir Kapadokya Havalimanının Emisyon ve Gürültü Açısından Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine.