



**UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU
İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Azar GARAYEV

Eskişehir 2023

**UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Azar GARAYEV

Yüksek lisans Tezi

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Azar GARAYEV'in UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı çalışması 16/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim dalında Yüksek lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU
Üye	: Prof. Dr. Önder ALTUNTAŞ
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Melih YILDIZ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

16/01/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek lisans ęrencisi Azar GARAYEV, UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE DEğERLENDİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU

ÖZET

UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Azar GARAYEV

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN)

Tarih öncesi çağlardan beri insanlar kuşların uçuşunu gözlemlemişler ve bunu yapacak güçten yoksun olmalarına rağmen onları taklit ederek uçmak istemişlerdir. Mantık, kuşların küçük kasları onları havaya kaldıracak ve destekleyebiliyorsa, o zaman insanların daha büyük kaslarının da bu başarıya ulaşabilmesi gerektiğini dikte etti. Asırlar geçtikçe, bilim, teknoloji ve insan beyninin birleşmesiyle insanlar kendi uçuş hayallerine kavuştular. Gittikçe gelişen çeşitli hava araçları günümüz dünyasında hem sivil, hem de askeri alanda çok önemli değere sahiptir. Bu yüzden uçuş emniyet ve güvenliğinin sağlanması, uçakların bakımının yapılması, en üst düzey performans veriminin alınması gibi konular havayolu şirketlerinin en büyük sorumluluğudur.

Saatlerce süren uzun mesafeli uçuşlarla birlikte uçak performansının dengeli ve verimli kalması çok önemlidir. Uçak performansının düşmemesi ve artırılması için birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Uçak performansına etki eden pek çok faktör mevcuttur. Bu çalışmada; uçak performansına etki edebilecek faktörler kapsamlı literatür taraması yapılarak belirlenmiştir. Bu faktörlerin uçak performansına ne derecede etki edebileceği “Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)” yöntemi olan “Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA – Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis)” yardımıyla analiz edilmiştir. Alanında uzman karar vericilerin görüşleri doğrultusunda elde edilen veriler SWARA yöntemi ile analiz edilerek; analizler sonucunda ağırlık kriterinin uçak performansına etki edebilecek diğer kriterlere nazaran daha fazla etki edebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Havacılık, Uçak performansı, Çok kriterli karar verme, SWARA.

ABSTRACT

EVALUATION OF AIRCRAFT PERFORMANCE PARAMETERS BY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD

Azar GARAYEV

Department of Aircraft Body Engine Maintenance

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2023

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU

(Co-Supervisor: Doç. Dr. Ebru YAZGAN)

Since prehistoric times, humans have observed the flight of birds and wanted to fly by imitating them, although they lacked the power to do so. Logic dictated that if birds' small muscles could lift and support them, then humans' larger muscles should be able to replicate that feat. Over the centuries, people have achieved their dreams of flying with the combination of science, technology and the human brain. Various aircraft, which are developing gradually, have a very important value in today's world, whether in the civil or military field. Therefore, the safety of the flight, the maintenance of the aircraft and obtaining the highest performance efficiency from them are the biggest responsibility of the airline companies.

It is very important that the aircraft performance remains balanced and efficient with long-haul flights for many hours. A lot of work is being done to prevent the performance of the aircraft from deteriorating. However, there are many factors that affect it. In this study, factors that may affect aircraft performance were determined by conducting a comprehensive literature review and how much they could affect was analyzed with the help of Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), which is a Multi-Criteria Decision Making method. As a result of the analysis, it was determined that the Weight criterion among the selected criteria could have a greater effect on the aircraft performance.

Keywords: Aviation, Aircraft performance, Multi-criteria decision making, SWARA.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tüm eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği olan, çocukluğumdan beri eğitim hayatımda başarılı olmam için ellerinden geleni yapan tüm hocalarıma minnettarım.

Yüksek lisans sürecinde tanışma fırsatı bulduğum, 2 yıl boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını bana ayırıp sorularıma sabırla cevap veren, bana her fırsatta yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Elif KORUYUCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde bana her zaman yardımcı olan, tezimi tamamlamamda büyük emeği olan ikinci danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Ebru YAZGAN'a minnettarım.

Tez savunma jürimde bulunan, değerli görüşlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Önder ALTUNTAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Melih YILDIZ'a da teşekkür ederim.

Son olarak bana hayatımın her anında destek olan, çocukluktan beri hep eğitim almam için her şeyi yapan, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Azar GARAYEV

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Azar GARAYEV

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
GÖRSELLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Uçak Performans Parametreleri.....	4
2.2. Çok Kriterli Karar Verme Metodu SWARA	16
3. METODOLOJİ.....	22
3.1. Uçak Performansı.....	22
3.1.1. Sıcaklık	24
3.1.2. Buzlanma.....	25
3.1.3. Mikro patlamalar	27
3.1.4. Yakıtlar.....	27
3.1.5. Lastikler	27
3.1.6. Kanatçığın etkisi	28
3.1.7. Yağmurun etkisi	29
3.1.8. Malzemenin etkisi.....	31

3.1.9. Uçak ağırlığının etkisi	31
3.1.10. Basıncın etkisi	33
3.1.11. Pist yapısının etkisi	33
3.1.12. Rüzgarın etkisi	35
3.1.13. Yer etkisi (Ground effect)	37
3.1.14. Pervane veriminin etkisi	37
3.2. SWARA	38
4. BULGULAR	42
4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması	42
4.2. Kriterlerin Karşılaştırılması Yoluyla Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önem Değerinin Belirlenmesi	43
4.3. k_j Değerinin Belirlenmesi	44
4.4. Yeniden Hesaplanan Ağırlık Değerinin Belirlenmesi	44
4.5. Göreceli Ağırlık Değerinin Belirlenmesi	45
4.6. Geometrik Ortalama ve Son Ağırlıklar	46
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	48
KAYNAKÇA	50
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Kriterlerin kodları ve isimleri	42
Tablo 4.2. Kriterlerin karar vericilere (KV) göre önceliklendirilmesi.....	43
Tablo 4.3. s_j ve k_j değerleri	44
Tablo 4.4. Yeniden hesaplanan ağırlık değerleri	45
Tablo 4.5. Göreli ağırlık değerleri.....	46
Tablo 4.6. Final sıralama.....	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Farklı sıcaklıkların uçağın kalkışına etkisi (http-3).....	24
Şekil 3.2. Farklı lokasyonlarda buzlanma için Airbus A340-300 üzerinde çözümler (Caliskan ve Hajiyev, 2013).....	26
Şekil 3.3. Sabit kanantçıklı bir uçağın önden görünümü (Dinesh, vd., 2014).....	29
Şekil 3.4. Uçakta uygulanan yağmur kaynaklı tork ve basınç merkezindeki değişim (Luers, 1983).	30
Şekil 3.5. Su buharı yoğunlaşmalı kanat profili sınır tabakasının olası istikrarsızlaştırma etkisi (Luers, 1983)	30
Şekil 3.6. Motor gücü, itme ve pervane gücü arasındaki eğri (http-2)	38
Şekil 3.7. SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi (Keršulienė ve Turskis, 2011)	41

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Artan irtifanın kalkış mesafesine etkisi (http-4).....	33
Görsel 3.2. Pistin durumunun kalkışa etkisi (http-5)	35
Görsel 3.3. Rüzgârın uçuşa etkisi (http-6)	36
Görsel 3.4. Uçağın kalkışı zamanı yer etkisi (Dubois, 2020)	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
ANP	: Analytic Network Process (Analitik Ağ Prosesi)
APM	: Aircraft Performance Model (Uçak Performans Modeli)
ARAS	: Additive Ratio Assessment (Katkı Maddesi Oranı Değerlendirmesi)
BTS	: Bureau of Transportation Statistics (Ulaştırma İstatistikleri Bürosu)
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
CODAS	: Combinative Distance-based Assessment (Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme)
COPRAS	: Complex Proportional Assessment (Karmaşık Oransal Değerlendirme)
DOF	: Degrees of Freedom (Serbestlik Derecesi)
FAD	: Fuzzy Axiomatic Design (Bulanık Aksiyomatik Tasarım)
FRP	: Fiber Reinforced Polymer (Cam Elyaf Takviyeli Polyester)
GRA	: Grey Relational Analysis (Gri İlişkisel Analiz)
HF	: Hesitant Fuzzy (Kararsız Bulanık)
IPS	: Ice Protection System (Buz Koruma Sistemi)
MARCOS	: Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution (Uzlaşma Çözümüne göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama)
MULTIMOORA	: Multiple Objective Optimization based on the Ratio Analysis (Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon)
NPSS	: Numerical Propulsion System Simulation (Sayısal Tahrik Sistemi Simülasyonu)
SEP	: Specific Excess Power (Spesifik Fazla Güç)
SFC	: Specific Fuel Consumption (Özgül Yakıt Tüketimi)
SWARA	: Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
TPO	: Task Performance Optimization (Görev Performans Optimizasyonu)

WASPAS : Weighted Aggregated Sum Product Assessment
(Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım
Değerlendirmesi)

k_j : Katsayı

q_j : Yeniden hesaplanan ağırlık

s_j : Ortalama değerin karşılaştırmalı önemi değeri

w_j : Göreli ağırlık

i : Alt kriter

j : Kriter



1. GİRİŞ

Uçak teknoloji sistemlerinin birbirine bağımlılığı, havacılık taşımacılığı endüstrisinin küresel gelişimi ve potansiyel atmosferik etkileri çevreleyen belirsizlikler, havacılık ve çevresel etki arasındaki ilişkiyi tanımlamayı zorlu bir görev haline getirmiştir. Hava taşımacılığı, tüm ulaşım çeşitleri arasında hızla büyümeye devam etmektedir. Havacılık ulaşım sisteminin enerji yoğunluğu her ne kadar azalmaya devam etse de, yakıt kullanımı ve toplam emisyonlar istikrarlı bir şekilde artmaktadır (Lee vd., 2001).

Performans, bir uçağın onu belirli amaçlar için yararlı kılan belirli şeyleri başarma yeteneğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Örneğin, bir uçağın çok kısa bir mesafeye iniş ve kalkış yapabilmesi; kısa, iyileştirilmemiş hava meydanlarında ve dışında görev yapan pilot için önemli bir faktördür. Ağır yükleri taşıyabilme, yüksek irtifalarda yüksek hızlarda uçabilme ve/veya uzun mesafeler kat edebilme yeteneği, havayolu şirketleri ve uçakların performansı için gereklidir.

Uçuş performansından en çok etkilenen birincil faktörler, kalkış ve iniş mesafesi, tırmanma oranı, yük, menzil, hız, manevra kabiliyeti, stabilite ve yakıt ekonomisidir. Bu faktörlerden bazılarının olumlu sonuçları diğeri için olumsuz sonuçlar yaratabilmektedir. Örneğin, yüksek hıza karşı kısa iniş mesafesi, uzun menzile karşı büyük yük ve yüksek tırmanma hızına karşı yakıt ekonomisi vb. gibi sonuçlar istenmez. Uçaklar arasındaki farklılıkları belirleyen ve modern uçaklarda bulunan yüksek derecede gelişimi açıklayan, bu faktörlerden bir veya daha fazlasının üstünlüğüdür.

Uçak performansının çeşitli öğeleri, uçak ve motor özelliklerinin kombinasyonundan kaynaklanmaktadır. Uçağın aerodinamik özellikleri genellikle çeşitli uçuş koşullarında güç ve itme gereksinimlerini tanımlarken, motor özellikleri ekseriyetle çeşitli uçuş koşullarında mevcut olan güç ve itme kuvvetini tanımlamaktadır. Aerodinamik konfigürasyonun motorla eşleşmesi, belirli tasarım koşullarında (örneğin, menzil, dayanıklılık ve tırmanma) maksimum performans sağlamak için üretici tarafından gerçekleştirilmektedir (U.S. Dept. of Transportation, 2008).

Uçak performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır ve bu faktörlerin uçak performansına ne derecede etki edeceğinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Ayrıca uçak performansına etki eden faktörler uçuşun herhangi bir anında uçuş performansına da etki edebilmektedir. Günümüz yaşamında yapılan her tür faaliyet için çeşitli kriterlerden biri veya birkaçı seçilerek pek çok karar alınmaktadır. Bu kararlar

alınırken, uzman kişiler tarafından, farklı karar verme metotları kullanılarak kriterler değerlendirilmekte ve ağırlıklandırılma yapılmaktadır. Problemin yapısını belirlemek ve çoklu kriterleri açık bir şekilde değerlendirmek önemlidir. Örneğin; bir nükleer santral yapımında farklı kriterlere göre bazı kararlar alınmaktadır. Yapımda bir çok kriter içeren çok karmaşık sorunlar ile karşılaşmaktadır. Ayrıca bazı kriterler farklı sorunlara da yol açabilmektedir. Ancak her şeyden önce optimum bir çözüme sahip olmak için, tüm alternatifler değerlendirilerek daha iyi kararlar alınmasını sağlayan ortak kriterler belirlenmelidir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, çok kriterli karar verme ve planlama problemlerini yapılandırmak ve çözmekle ilgilidir. Bu yöntemlerin temel amacı, çözülecek bir problemin çözümü için çok fazla seçeneğin olduğu durumlarda karar vericileri desteklemektir. Tipik olarak, bu problemlerin en iyi bir şekilde çözümlenmesi için kesin bir optimal çözümün olmadığı durumlarda, seçenekler arasından tercih yapabilmek için karar vericinin vereceği karar önemlidir. Sorunun çözümü farklı şekillerde yorumlanabilir. Bir dizi alternatif çözüm arasından “en iyi” alternatifi seçmek gerekebilir. "Çözmenin" başka bir yorumu, küçük bir dizi iyi alternatif seçmek veya alternatifleri farklı tercih kümeleri halinde gruplandırmaktır (Aruldoss vd., 2013).

İncelenen açık literatürde, ÇKKV yöntemleri ile ilgili yapılmış kapsamlı çalışmaların olduğu, ancak havacılık alanında bu yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların pek de fazla olmadığı görülmüştür. ÇKKV yöntemleri önemli verileri elde edebilmek için hem maliyet açısından hem de zaman tasarrufu açısından önemli faydalar sunduğu için bilimin birçok alanlarında kullanılmaktadır. Havayolu şirketleri için uçak performansına etki eden faktörler çok önemlidir. Bunun yanında oluşabilecek tehlikelerin önüne önceden geçilmesi gerekir.

Bu çalışmada, uçak performansına etki edebilecek faktörlerin değerlendirilmesi bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Uçak performansına etki eden faktörlerin değerlendirilmesi amacıyla bir ÇKKV metodu olan Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis - SWARA) yöntemi kullanılarak performans kriterlerinin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında uçak performansına etki edebilecek 14 adet kriter açık literatürden faydalanılarak belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen performans kriterlerinin değerlendirilebilmesi için uzman görüşleri alınarak ÇKKV metodunun yardımıyla ağırlıklandırılma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda uçak performansına etki eden 14 kriter içerisinde uçak

performansına etki edebilecek en önemli kriterin ağırlık kriteri olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı literatürde olan boşlukları doldurarak havacılık alanındaki çalışmalara katkıda bulunmak, uçak performansını olumsuz etkileyebilecek faktörlerin daha rahat tespit edilerek uçuş performansının artırılmasına yardımcı olmak ve ÇKKV yöntemlerinin literatürde kendisine daha çok yer bulmasını sağlamaktır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Uçak Performans Parametreleri

Açık literatürde bulunan çalışmalar incelenerek, uçak performans parametreleri ile ilgili olarak erişilen çalışmalar hakkında aşağıda kısa bilgiler verilmiştir. İncelenen performans parametreleri doğrultusunda çalışmayı temel oluşturan faktörler belirlenmiştir.

Bryson JR. vd. (1969), uçak performans optimizasyonu için enerji durumu yaklaşımının kullanımı, maksimum menzil problemleri gibi birçok konudan bahsetmişlerdir. Tipik süpersonik uçaklar için sayısal performans sonuçlarını, hem menzil hem de tırmanma problemleri için paylaşmışlardır.

Holloway ve Burris (1970) modern uçuş kontrol teknolojisinin bazı uygulamaları tarafından sunulabilecek uçak performansındaki potansiyel kazanımları tartışmışlardır. İncelenen kavramlar, doğal statik stabilitenin gevşemesini, sürüş kalitesi kontrolünü, çarpıntı marjı kontrolünü ve manevra yükü kontrolünü içermektedir. Çalışmada, her kavramın kısa bir açıklaması ve ağırlık veya sürtünme iyileştirmeleri açısından potansiyel faydaları örneklerle açıklanmıştır.

Zagalsky (1973), uçağın sınırlı kinetik, potansiyel ve kimyasal enerji kaynaklarını, görevin uzay-zaman hedeflerine doğru en iyi şekilde uygulayan uçuş yollarının uygulanması yoluyla, hava aracı performansının önemli ölçüde iyileştirilebileceğinden bahsetmiştir. Operasyonel düzeyde bu tür bir uygulamayı mümkün kılacak araç veya sistemleri sağlamaya yönelik o zamanlardaki bazı yöntemleri incelemiştir.

Agrawal (1986), uçak frenleme performansı konusunu ve uçakta hız aşımına, yön kontrolünün düşmesine yol açan çeşitli ilgili fenomenleri incelemiştir. Lastik deformasyonunun, lastik kaymasının ve lastik pist temas alanındaki sıvı basınçlarını içeren karmaşık süreçlerin, uçağı geciktirmek için sürtünme kuvvetlerini geliştirdiğinden ve bu süreçlerin fiziklerinden bahsetmiştir. Kontamine pistlere iniş ve kalkışlarla bağlantılı tehlikelerle mücadele etmenin en etkili yolunun, uçak kokpitindeki fren performansı parametrelerini gerçek zamanlı olarak ölçmek ve görüntülemek olduğunu vurgulamıştır.

Szodruch ve Hilbig (1988), değişken kanat kamber konsepti hakkında araştırmalar yapmışlardır. Bu konseptin sadece performans iyileştirmeleri için potansiyel sağlamakla kalmayıp aynı zamanda yeni uçak tasarımları için operasyonel esnekliği artıran teknolojilerin bulunmasına yardım edeceğinden bahsetmişlerdir.

Politovich (1989), büyük aşırı soğutulmuş damlacıklar içeren uçak buzlanma ortamlarının özelliklerini açıklamıştır. Bu damlacıkların uçak performansına ne kadar etki ettiğini araştırmıştır.

Smith vd. (1991), performans kontrol tasarım stratejisini, kontrol algoritmasını ve yüksek doğruluklu, doğrusal olmayan uçak/motor simülasyonlarından elde edilen sonuçları incelemişlerdir. Simülasyon sonuçları, performans kontrol sistemi tarafından %15'e varan itki artışlarının ve özgül yakıt tüketimi azalmalarının gerçekleştirilebildiğini göstermektedir.

Bragg vd. (2000), buz birikmesinin etkisini modellemek, uçak stabilitesini ve kontrol parametrelerini değiştirmek için basit bir yöntem kullanmışlardır. Yarı-sabit durum uçuşu sırasında buz birikiminin uçak performansı ve kontrolü üzerindeki etkisini algılamak ve teknikler geliştirmek için araştırmalar yapmışlardır.

Emadi ve Ehsani (2000) konvansiyonel ve gelişmiş uçak güç sistemi mimarileri, dezavantajları, iyileştirme fırsatları, güç elektroniğinin rolü ve uçak güç sistemi araştırmalarındaki mevcut eğilimler gibi konular hakkında araştırma yapmışlardır.

Pokhariyal vd. (2001), buz birikiminin uçak performansı ve uçuş sırasında kontrolü üzerindeki etkisini ve konumunu algılamak için teknikler geliştirmişlerdir.

Norheim vd. (2001), hareket alanının kat edilen kış yüzeyleri üzerindeki uçak tekerleklerinin etkileşimini tribosistem tarafından ana hatlarıyla belirtmiş ve sistemin operasyonel zarfını anlatmışlardır.

Vachon vd. (2002), özel olarak donatılmış uçaklarla, yakıt akışı ölçümleri yapmış ve motor itme ve araç sürtünmesini hesaplamışlardır. Bu test için geliştirilen manevra tekniğinin yardımıyla, performans değerlerinin doğrudan karşılaştırılmasını yapmışlardır. Dikey, yanal ve boylamsal konumlandırmadaki değişikliklerin fonksiyonu olarak girdap içindeki performansa dayanan bu testler, otonom istasyon tutma kontrol sistemleri için tasarım sürücülerini de içinde barındırmıştır.

A. Cavcar ve M. Cavcar (2004), performans farklılıklarının hava trafiği gecikmeleri üzerindeki etkisini, 3 farklı uçak tipinden oluşan kalkış kuyruğu için deterministik gecikme hesaplaması ile kanıtlamışlardır.

Whalen vd. (2004), gerçek uçuş verileri yardımıyla uçağın akıllı buzlanma sisteminin buzlanma koşullarında uçuşunu test etmişlerdir. Bu analizin sonuçlarına göre, buz birikiminin hem varlığını hem de ciddiyetini açıkça gösteren çok sayıda parametreyi

ortaya çıkmıştır. Atmosferik türbülansın bu parametre tanımlama yöntemini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir.

Wickenheiser vd. (2004), çeşitli biyo-ilhamlı dönüşüm konseptlerinin insansız hava aracı tasarımlarına uygulanmasını araştırmışlardır. Şekil değişikliklerinin aerodinamik faydalarını, dinamik tepkisini ve görev düzeyindeki faydalarını hesaplamak için çeşitli analiz araçlarını incelemişlerdir. Çeşitli geometri değişikliklerinin aracın aerodinamiği üzerindeki etkilerini hesaplamak için ampirik ilişkiler kullanmışlardır. 6 serbestlik dereceli (Degrees of Freedom – DOF) simülasyonu kullanmış ve bunun her bir araç konfigürasyonunun stabilitesini ve dinamik tepkisini ve ayrıca geçiş değişikliğinin "anlık görüntülerini" değerlendirmişlerdir. Çeşitli şekil konfigürasyonları için uçak performans analizi de yapmışlardır.

Antoine ve Kroo (2005), gürültü ve emisyonları uçağın kavramsal tasarım aşamasında optimizasyon hedefleri olarak entegre etmenin fizibilitesini araştırmışlardır. Çevresel performans ile işletme maliyeti arasındaki ödünleşimlerin nicel analizini yapmışlardır. Optimum uçak konfigürasyonlarını belirlemek ve düşük gürültü, düşük emisyon ve işletme maliyetleri gibi çelişen hedefler arasındaki hassasiyetleri tahmin etmek için çok amaçlı genetik algoritma kullanan araç geliştirmişlerdir.

Jepson ve Gopalarathnam (2005), pistonlu motorlu pervaneli uçaklar için düşük hızlı laminar akışlı kanat profillerinin ters tasarımında uçak performansı değerlendirmelerini içeren tasarım formülasyonu sunmuşlardır. İki uçak performans parametresini dikkate almışlardır: düz uçuş maksimum hızı ve maksimum menzil. Kanat profili düşük sürüklenme aralığının alt ve üst köşeleri için kaldırma katsayısının, kanat profilini bu iki uçak performans parametresine göre uyarlamak için uygun şekilde ayarlanabileceğini göstermişlerdir. Tasarım formülasyonunun ayrıca, kanat profili maksimum kaldırma katsayısındaki değişiklikleri hesaba katmak için kanat alanını otomatik olarak ayarlayarak stall hızı üzerindeki kısıtlamayı ele alma kabiliyetine sahip olduğundan bahsetmişlerdir.

Diedrich vd. (2006), gürültü azaltmada değişiklik ile yeni, ticari bir uçak tasarımını üretmeyle ilgili performans ve maliyetleri tahmin etmek, optimize etmek için entegre bir tasarım aracının oluşturulmasını, uygulanmasını ve kullanımını açıklamışlardır. Bu uçağı, tipik bir kentsel alanda, havalimanı sınırlarının dışında duyulmayan bir uçak olarak tanımlamışlardır. Basit fizik ve ampirik ilişkilerin bir kombinasyonunu kullanan çok

disiplinli uçak tasarım modellerini, sessiz uçak konfigürasyonu için uyarlamışlardır. Sessiz uçak tasarımını, performans ve akustik imza açısından değerlendirmişlerdir.

Bradley vd. (2006), uçağın ve yakıt hücreli motorun teknik özelliklerinin özetini sunmuşlardır. Laboratuvar ve saha test sonuçlarını sistem tasarımı için kullanılan uçak tahrik modelini doğrulamak için kullanmışlardır. Ayrıca bugüne kadar tamamlanan uçuş testlerinin özetini de sunmuşlardır.

Campbell vd. (2007), bazı aerodinamik testler yaparak; aerodinamik test sonuçlarını, karşılık gelen buzlanma parametreleriyle iki hassasiyet biçiminde ilişkilendirmişlerdir: kanat profili performansı buzlanma parametre varyasyonlarına ve türetilmiş uçak performansı buzlanma parametre varyasyonlarına.

Siouris ve Qin (2007), sabit plan formu ve yunuslama momenti kısıtlaması ile aerodinamik olarak optimize edilmiş bir tasarıma dayanan, kanatlı gövdeli bir uçağın aerodinamik performansı üzerindeki kanat süpürme etkilerine ilişkin çalışma sunmuşlardır.

Bridges (2008) yaptığı çalışmada, Mach sayısı etkilerini içeren itme ve sürüklenme modellerini ve bu modellerin seyir hızı, tavan ve menzil analizlerine ve ayrıca enerji yöntemlerini kullanan performans tahminlerine uygulanmasını açıklamıştır.

Zammit-Mangion ve Eshelby (2008), takeoff zamanı uçağın hızlanmasıyla ilgili bazı formüller vermiş ve algoritma geliştirmişlerdir. Uçağın pist kısıtlamaları dahilinde havalanmak için hızlanma yeteneğini ölçen hava aracının kalkış performansı, manevranın emniyeti için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Pist uzunluklarının gerçekten yeterli olduğundan emin olmak için sevkıyattan önce programlanmış hesaplamalar gerçekleştirildiğini, ancak aynı denklemlerin, gerçek zamanlı performans izleme için kolaylıkla kullanılamayacağını ve bu nedenle basitleştirilmiş bir algorithmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.

Filippone (2008), sabit kanatlı uçaklar için kapsamlı performans kodlarındaki en son teknolojiyi incelemiştir. Uçuş performansında sistem analizinin öneminden, aerodinamik, tahrik, uçuş mekaniği, aeroakustik, uçuş operasyonu, sayısal optimizasyon, stokastik yöntemler ve sayısal analizin rolünden bahsetmiştir. Performans analizi için kullanılan verileri ve ilerlemenin gerekli olduğu alanları eleştirel olarak incelemiştir. Kapsamlı analiz kodları, görev yakıt planlaması, rekabet analizi, çok çeşitli çevresel çalışmalar, pazarlama analizi, uçak sertifikasyonu ve kavramsal uçak tasarımı için kullanılabilir bir çalışma yapmıştır. Sivil uçaklar için çok disiplinli yaklaşımı kullanan

kapsamlı bir programı konu alan bu çalışmada, kapsamlı kod, bitmap dosyalarından geometri elde etmek için modüller, tüm uçuş koşulları için aerodinamik model, uçuş zarfları ve görev analizi için uçuş mekaniği modeli, uçak gürültü modeli ve motor emisyonları gibi bir çok konu hakkında araştırmalar yapmıştır. Orta yolcu kapasiteli GE-90 turbofan motorlu Boeing B-777-300 için genel model analizi ve uçuş zarfı araştırması yapmıştır.

Schuster vd. (2010), sivil uçaklar için yüksek performanslı dört boyutlu yörünge tahmin modeli önermişlerdir. Modele, yeni uçuş kontrol sistemi ve geliştirilmiş uçuş komut dosyası eklemiştir. Yörünge tahmin modelinin performansını, gerçek bir uçuş denemesi sırasında elde edilen verileri kullanarak değerlendirmişlerdir ve mevcut modellerden önemli ölçüde iyi sonuçlar aldıklarından bahsetmişlerdir. Bu modelin uçuşun kalkış, rota ve hassas olmayan yaklaşma aşamaları için gerekli seyrüsefer performansını karşılama potansiyeline sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Çokorilo (2011), uçak bakımının karmaşık ve maliyetli bir prosedür olduğundan ve yıllık toplam şirket maliyetlerinin %12'si kadar olduğundan bahsetmiştir. Uçağın bakımını, zamana bağlı olmayan parametrelerin çoklu öznitelik analizi ile araştırmıştır. Uçakların bakım yapılabilirlik derecesini belirlemek amacıyla, değiştirilmiş Max-min yöntemi geliştirmiştir. Araştırma, temsili beş bölgesel uçak örneği üzerinde gerçekleştirmiştir: Do328JET, CRJ-200, ERJ145, ATR42 ve Fokker50.

Randle vd. (2011), uçak yakıtı yakmak için kullanılacak olan model geliştirmek için uçuş veri kaydedicilerinden alınan ölçümleri kullanmışlardır. Model, ters rüzgar, seyir uçuş koşulları, tırmanma performansı ve alçalma operasyonu için yapılan basit ayarlamalarla Bréguet menzil denkleminin bir uyarlamasıdır. Uçuş verilerinin analizinde, kalkış ve tırmanış için gereken ek yakıt tüketiminin sürekli olarak kalkış ağırlığının %1,5'i civarında olması gerektiğini göstermişlerdir. Yeni modeli, çok sayıda uçuştan elde edilen yakıt tüketimi verilerine karşı doğrulamışlar ve Breguet menzil denkleminin basit bir biçimine göre büyük ölçüde geliştirilmiş doğruluğa sahip olduğunu göstermişlerdir.

Brandt ve Selig (2011), giderek artan insansız hava araçlarına uygulanabilir pervaneler hakkında araştırma yapmışlardır. Bu insansız hava araçlarının çoğunun, %75 pervane kanat istasyonundaki pervane kirisine bağlı olarak düşük Reynolds sayısı 50.000 ila 100.000 aralığında çalışması gereken pervaneler kullandığını vurgulamışlardır. Bu koşullarda pervane verimliliğini ölçmek için Illinois Üniversitesi'nde Urbana Champaign'de testler yapmışlardır. Toplamda 79 pervane test edilmiş ve çoğunluğu 9 ila

11 inç çap aralığına uymuştur. Testler sırasında, rüzgar tüneli hızı, yel değirmeni durumuna ulaşana kadar bir dizi ilerleme oranını süpürecek şekilde değiştirilirken pervane hızını sabitlemişlerdir. Reynolds sayısı etkilerini incelemek için, pervane çapına bağlı olarak 1.500 ila 7.500 aralığında dört pervane hızını test etmişlerdir. Dolayısıyla, bu testlerle birlikte insansız hava araçları için uygun pervane seçiminin uçak performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini vurgulamışlardır.

Camilleri vd. (2012), uçuş optimizasyonu çalışmalarında kilit bileşenin, uçak performans modeli olduğundan bahsetmişlerdir. Sağlam yörünge tanımını ve ikincil multidisipliner araçlarla birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak için de esnekliğin gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Çok disiplinli optimizasyon ortamında kullanım için özel olarak tasarlanmış olan Uçak Performans Modelinin (Aircraft Performance Model – APM) yapısını ve ana özelliklerini açıklamışlardır. Hava Aracı Veri Tabanı katsayıları kullanılarak tasarlanan başka bir hava aracı performans modeli ile oluşturulan verilere karşı doğrulama çalışması yapmışlardır. Karşılaştırma için tırmanma, seyir ve iniş aşamalarını incelemişlerdir.

Henderson vd. (2012), çok disiplinli tasarım optimizasyonun, aynı anda gövde, motor ve görev göz önünde bulundurularak uçağı optimize etmek için kullanıldığından bahsetmişlerdir. Sonuçlar, minimum doğrudan işletme maliyeti olan bir uçağın sonuçlarıyla karşılaştırılır. Optimizasyon problemlerinde dikkate alınan tasarım değişkenleri, uçak geometrisini, motor parametrelerini ve seyir ayarlarını içerir.

Menon vd. (2013), uçağın aerodinamik, yapısal, dinamik ve aeroelastik parametrelerini belirlemek için tahmini hasar parametreleri kullanmıştır. Daha sonra bu parametreler kullanılarak uçak performans zarfı ve manevra sınırları tahmin edilmiştir. Genişletilmiş Kalman filtresi ile sıkı bir şekilde birleştirilmiş yenilikçi bir diferansiyel girdap kafes algoritması kullanarak, bozulmuş uçakların uçuş zarfını tahmin etmek için bir metodoloji sunulmuştur.

Gallard vd. (2013), optimal uçak görev performansı bağlamında ve aerodinamik bakış açısından çoklu çalışma koşulları tasarımı problemini ele almışlardır. Özellikle, istenen koşul aralıklarından optimizasyon problemine dahil edilecek uçuş koşullarının seçimini, optimizasyon problemi minimum hesaplama maliyeti ile iyi bir şekilde dengelenecek şekilde yapmışlardır.

Caliskan ve Hajiyev (2013), uçak gövdesinin buzlanmasına engel olan yeni bir sistem belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Sinir ağına dayalı uçak buzlanma

tanımlamasından, toplu en küçük kareler algoritmasından, Kalman filtrelemeden, araştırmada kullanmışlardır.

Simon ve Armstrong (2013), entegre çevrimiçi uçak motorunun performans tahmini ve gaz yolu arıza teşhisi için Kalman filtresi tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımı mevcut sensör ölçümlerinden daha fazla bozulma ve arızayı temsil eden sistem parametresinin belirsiz tahmin problemleri için özel olarak tasarlamışlardır. Uygun şekilde boyutlandırılmış ayar parametreleri vektörünü tahmin etmek ve Kalman filtresini en uygun şekilde tasarlamak için karmaşık metodoloji uygulamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak hata izolasyon kararlarının yalnızca ideal sonuçlar vermediğini göstermişlerdir. Kalman filtresi tarafından üretilen tahmini ayar parametrelerinin doğrudan analizi ile geliştirilmiş hata izolasyon performansını göstermişlerdir. Bu tekniklerin uçak motoru simülasyonuna uygulanmasından elde edilen sonuçları tartışmışlardır.

Abbas vd. (2013), uçağın aerodinamik performansında çığır açan gelişmeler sağlama potansiyeli gösteren teknolojilerin incelemesini yapmışlardır. İndüklenen sürtünmeyi ve gürültüyü azaltmak için yeni uçak konfigürasyonlarını, laminar ve türbülans sürtünmeyi azaltmak için kullanılan teknolojileri ve uçağın istikrarsız nitelikteki ayrı akış koşulları altında performansını iyileştirmek için olan cihazları incelemişlerdir. İyileştirilmiş aerodinamik tasarımların ve yeni aerodinamik teknolojilerin tanıtımının, yalnızca uçak performansının iyileştirilmesinde kilit bir rol oynamaması, aynı zamanda ürün maliyetine ve çalışabilirliğine de güçlü bir şekilde katkıda bulunması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Casado vd. (2013), parametrik modellerin kullanımından elde edilen uçak performans belirsizliğinin yörünge tahmin doğruluğu üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir metodoloji önermişlerdir. İstatistiksel modellemeye dayanan yöntemde, aynı tipteki tüm uçaklar için performans belirsizlik sınırlarının ve sonuçta ortaya çıkan yörünge tahmin hatası sınırlarının tanımlanmasını sağlamışlardır.

Allison ve Alyanak (2014), çok disiplinli uçak gövdesi tasarım sürecinde etkileşim kurabilen kurulu bir tahrik modeli geliştirmişlerdir. Sayısal Tahrik Sistemi Simülasyonu (Numerical Propulsion System Simulation – NPSS) yazılımı ile çalıştırılan gelişmiş üç akışlı değişken çevrimli motor modeli oluşturulmuşlardır. Üç akışlı motor modeli, motorun içindeki değişken çevrim bileşenlerinin uçak tasarım alanına maruz kalması için parametrelendirilmiştir.

Cao vd. (2014), yağmurun uçak aerodinamiği üzerindeki etkileri hakkında sistematik ve kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Yağmurun neden olduğu havacılık kazaları, yağışın uçaklara yönelik hangi tehlikeler doğurabileceği, yağmurun doğal özelliklerini, mevcut yağmur araştırma tekniklerini, yağış simülasyonu için bazı aerodinamik teknikleri araştırmışlardır.

McDonald (2014), elektrikli uçak tasarlamak için elektrik motorlarının, pervanelerin ve kanallı fanların performans özelliklerini bilmenin gerekli olduğundan bahsetmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bunları başarabilmek için formüller ve hesaplamalar verilmiştir.

Jansen vd. (2015), turboelektrik uçak güç sistemi için temel performans parametrelerinin uçak üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Güç sistemi tasarımını etkileyen temel işlevsel gereksinimleri belirlemişlerdir. Yolcu uçağı ve turboelektrik uçak için Breguet menzil denklemlerini bulmuşlardır. Turboelektrik sisteminden kaynaklanabilecek faydaları ve maliyetleri sıralamışlardır.

Ntantis ve Botsaris (2015), gelişmiş motor arıza teşhis araçları, modül düzeyinde bozulmayı belirleme, motorun kullanımı sırasında bu bozulmaların eğilimlerini belirleme ve bakım eylemini önceden planlama gibi konular hakkında araştırma yapmışlardır. Çalışmada ana gaz yolu bileşenlerinin, yani kompresör ve türbinin, güvenilir olduğundan, ancak aero motorların zorlu ortamlarda çalışmasının, motor arızalarına ve performansın bozulmasına neden olduğundan bahsetmişlerdir. Performansın bozulmasının ise, itme gücündeki azalma ve daha yüksek yakıt tüketimi nedeniyle hem işletme maliyetini hem de motor bakım maliyetini arttırdığına vurgu yapmışlardır. Modül düzeyinde bozulmayı belirleme, motorun kullanımı sırasında bu bozulmaların eğilimlerini belirleme gibi birçok problemi gelişmiş motor arıza teşhis araçlarını kullanarak çözmenin mümkün olduğundan bahsetmişlerdir.

Krajček vd. (2015), standart operasyonel koşullara ve düzenli uçak bakımına rağmen, yüksek ses altı Mach sayısı nedeniyle yapı bozulması ve yüksek dinamik yüklerin, uçuş performansını belirleyen ana fiziksel faktörlerin değişmesine neden olabileceğini ve bunun sonuçlarını araştırmışlardır. Bu yüzden de mevcut performans izleme yöntemlerine genel bir bakışın yanı sıra, uçuş verilerini kullanarak uçuşta olan uçaklar için fiziksel özelliklerin belirlenmesine ilişkin yeni araştırma olanakları sunmuşlardır.

Cao vd. (2015), uçak uçuş dinamikleri üzerindeki çeşitli buz birikimi etkileri üzerine yapılan çalışmalara genel bir bakış sunmuşlardır. Aşağıdaki alanlara özel önem vermişlerdir: buzlu uçakların aerodinamik verilerini elde etme yolları, buzlu uçaklar için uçuş dinamik modelleme ve simülasyonu, buz birikmesinin uçak stabilitesi ve kontrolü üzerindeki etkilerinin yanı sıra uçuş performansı ve uçak buzlanma kabuğunun korunması. Son olarak, bu alanlardaki mevcut araştırmaların ilerlemesine dayalı olarak, sayısal simülasyon yöntemiyle buz biriken uçakların aerodinamik verilerinin elde edilmesi, buz birikmesinin uçaklar üzerindeki etkileri hakkında mevcut hesaplama modellerinin tüketilmesi dahil olmak üzere, araştırmacıların çözmesi için daha fazla ilgiyi hak eden bazı kilit konulara değinilmiştir.

Doman (2015), yakıtı ısı emici olarak kullanan uçaklar için görev planlama algoritmalarının ve yörünge optimizasyon yöntemlerinin, uçuşun hiçbir noktasında yakıt sıcaklık sınırlarının ihlal edilmemesini sağlamalı olduğundan bahsetmiştir. İlaveten, atık termal enerjiyi uçaktan uzaklaştırmak için devridaim yapan yakıt kullanan jet uçakları için nihai yakıt tankı sıcaklığını en aza indiren seyir irtifasının belirlenmesi problemini ele almıştır. Koşulların faydasını göstermek ve analitik modellerin türetilmesinde yapılan varsayımların etkisini değerlendirmek için sayısal örnekler vermiştir. Koşullar ayrıca uçak performans parametreleri, standart atmosfer ve yakıt devridaim döngüsünün ısı transfer özellikleri arasında bağlantı oluşturmuştur.

Hrastovec ve Solina (2016), uçak pozisyonunun doğru tahmin edilmesinin, hava trafiğinin en önemli konularından biri olduğundan bahsetmişlerdir. Şu an olan uçuşlar hakkında bilgi eksikliğini, 4D yörünge tahmininde ihtiyaç duyulan doğruluk payını incelemişlerdir. Uçaktan gerekli bilgileri alana ve daha doğru yeni yöntemler uygulanana ve kullanılana kadar, çok boyutlu veritabanında toplanan geçmiş uçuşlarla ilgili verilerden makine öğrenimini kullanarak uçak performanslarını tahmin etmek için alternatif bir yöntem önermişlerdir. Bu yolla yörünge hesaplamaları için daha iyi girdiler sağlayarak mevcut uygulamaları iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Her uçuş için ayrı ayrı uygun olan performans değerlerini tahmin etmek için uçuş planı verilerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, kaydedilen geçmiş uçak performanslarına ve ilgili uçuş verilerine dayanarak, gelecekteki uçuşlar için performansları etkili bir şekilde arttırabileceklerini vurgulamışlardır.

Şöhret vd. (2016), ekserjiyi termodinamik temelinde çalışan makineleri değerlendirmek için çok faydalı bir araç olarak kabul etmişlerdir ve çalışmada öncelikle

ekserjiye dayalı değerlendirme metodolojilerini detaylı olarak anlatmışlardır. Turbofanların belki de en çok araştırılan uçak gaz türbinli motor tipi olarak tanımlanabildiğinden bahsetmişlerdir. Yanma odasının en geri dönüşü olmayan bileşen olduğunu ve gaz türbini bileşeninin tüm bileşenlere kıyasla daha az ekserjetik iyileştirmeye ihtiyacı olduğu bulmuşlardır. Son olarak, uçak gaz türbin motorları için ekserji, eksergo-ekonomik, eksergo çevresel ve eksergo sürdürülebilirlik analizlerinin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Coffel vd. (2017), iklim değişikliğinin potansiyel bir etkisi olan yüksek sıcaklıklar nedeniyle ağırlık kısıtlamasındaki artış problemine odaklanmışlardır. Çalışmalarında dünya genelinde yaygın olarak kullanılan beş ticari uçak ve 19 büyük havalimanı için performans modelleri oluşturmuş ve günlük sıcaklık tahminlerini kullanmışlardır.

Tay vd. (2018), hibrit-elektrikli uçakların uçuş performansını ve görev analizlerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiş ve bunun için geliştirilmiş yazılım aracı sunmuşlardır. Yakıt tüketimi göz önünde bulundurulmuş ve hibrit-elektrikli uçakların geleneksel motorlara sahip uçaklarla doğrudan karşılaştırılmasıyla birlikte bu yazılım tasarlanmıştır. Yakıt pilleri, kısmen gereksiz karmaşıklık nedeni ve çeşitli nedenlerle çalışmalarında ele alınmamıştır. Çeşitli yakıt hücresi türleri için, motor performans modellemesine benzer şekilde, her bir uçak tipi için çoklu tüketim şemaları modellenmiştir.

Yanto ve Liem (2018), Ulaştırma İstatistikleri Bürosu (Bureau of Transportation Statistics – BTS) uçuş görevleri veri tabanına dayalı olarak 40 uçak tipine karşılık gelen yakıt veri tabanı oluşturmuşlardır. Daha sonra her bir uçak tipi için örnek tabanlı olan doğrusal regresyon modeli türetmişlerdir.

Immer ve Juretzko (2018), ön uçak tasarım sürecinin birden fazla disiplin içerdiğinden, performans analizi sırasında tasarım misyonunun parametrelerinin optimize edilmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Görev Performans Optimizasyonunun (Task Performance Optimization – TPO), özellikle karmaşık görev profilleri veya hibrit-elektrikli tahrik modelleri için genellikle zor olduğunu, bu nedenle, uçak performans analizini destekleyen yeni tasarımların yanı sıra karmaşık profillere de uygulanabilen bir yöntemin gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Temel unsuru olarak, geliştirilen yöntemin, segment tabanlı bir görev hesaplaması gerçekleştiren, hesaplama açısından verimli bir C++ yazılımı “Uçak Performans Programı” kullandığından bahsetmişlerdir. Bu yöntemle sadece istenen optimum görev performansının elde edilmesi değil, aynı zamanda

incelenen tasarımın tasarım dışı performansının da elde edilmesinin mümkün olduğunu vurgulamışlardır.

Sun vd. (2018), uçak kütlelerinin, uçak performansı, yörünge tahmini ve uçak trafik yönetiminin diğer birçok konusu üzerine yapılan çalışmalar için çok önemli bir bilgi parçası olduğundan bahsetmişlerdir. İlaveten, yakıt akışı modeli ile birleştirilmiş, farklı başlangıç kütlelerini, ilk olarak toplam enerji modeli ve referans modeli kullanılarak bağımsız olarak hesaplamışlardır. Ön, itme ve rüzgâr gibi bağımlı faktörlerin neden olduğu sonuçlardaki varyasyonları da incelemişlerdir. Yöntem, gerçek kütle ölçümlerinin mevcut olduğu Cessna Citation II uçağının 50 test uçuşu kullanılarak doğrulanmıştır. Doğrulama sonuçlarıyla birlikte, gerçek uçak kütlelerinin % 4,3'lük bir ortalama mutlak hatasının olduğunu vurgulamışlardır.

Puranik vd. (2018), mevcut bilgileri kullanarak kalibrasyonu optimizasyon problemi olarak ortaya koyan, uçak performans modeli kalibrasyonuna sistematik iki seviyeli bir yaklaşım sunmuşlardır. İlk seviye, çok amaçlı optimizasyon çerçevesinde üretici tarafından geliştirilen performans kılavuzları kullanılarak performans modelinin kalibre edilmesinden oluşur. Uçuş testinden elde edilen veriler varsa, bu modellerin kalibrasyon çerçevesinin ikinci seviyesi kullanılarak daha da iyileştirilebileceğinden bahsetmişlerdir. Ele alınan performans modellerinin, herhangi bir zamanda uçak tarafından üretilen boyutsuz kaldırma, sürüklenme, itme ve torku tahmin edebilen aerodinamik ve tahrik modellerinden oluştuğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmayı çeşitli geriye dönük emniyet analizlerinde modelleri kalibre etmek için kullanılabilen, kolayca tekrarlanabilir bir süreçle sonuçlandırmışlardır. Bu tür kalibre edilmiş modeller kullanılarak yapılabilecek emniyet analizlerine örnek de sunmuşlardır.

Deiler (2018), uçuş veri kayıtlarına dayalı olarak tüm uçak filosundaki uçuş performansını tahmin etmek için yeni bir enerji tabanlı metodoloji sunmuştur. Büyük veri problemini çözmek için uçağın uçuş mekaniği hakkındaki bilgilerini istatistiksel yöntemler ve tahmin teknikleriyle birleştirmiştir. Metodoloji önce ayrıntılı olarak açıklanmış, daha sonra simüle edilmiş uçuş verileriyle doğrulanmış ve son olarak Boeing B737 filosu ile 75.000'den fazla uçuşun uçuş verilerine uygulanmıştır. Elde edilen çok umut verici sonuçlarla birlikte, bu bilgiye dayalı metodolojinin, uçak uçuş performansı varyasyonunu güvenilir bir şekilde tahmin etmeye izin verdiğini ve zayıf veri çözünürlüğünü veya sınırlı kalite gibi çeşitli eksikliklerin kolayca üstesinden gelebileceğini vurgulamıştır.

Ang vd. (2018), yardımcı elektrik sisteminin kısa menzilli görevde A320 sınıfı uçak için turbofan motorunun performansı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Geliştirilen simülasyon modelini, tahrik modeli ile birleştirilmiş uçak performans modelinden oluşturmuşlardır. Güç yönetimi stratejisini simülasyon modeline entegre etmişlerdir. Önerilen tahrik sistemi ve güç yönetimi stratejisinin, yaklaşık 1000 km'lik kısa menzilli görevler için yakıt tüketimini, toplam enerji tüketimini ve emisyonları azaltabileceğini vurgulamışlardır.

Melis vd. (2019), artan yolcu ağırlığı yükünün ticari uçakların temel performans özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, değişen vücut kitle indeksi seviyelerine dayalı olarak yolcu demografik modeli geliştirmişlerdir. Yolcu ağırlığı değişiminin seçilen uçak görev performans özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için yerleşik analitik yöntemler kullanılmıştır. Üç tip uçak incelenmiştir; dar gövdeli (turbofan) Airbus A320, geniş gövdeli (turbofan) Airbus A330-200 ve ATR 72.

Gesell vd. (2019), hava taşımacılığı sektöründe artan çevresel gerekliliklerin, havacılık endüstrisi için büyük zorluklar teşkil etmekte ve inovasyon için temel itici güçler olduğundan bahsetmişlerdir. Ticari havacılık için elektrikli ve turbo hibrit tahrik sistemlerinin potansiyellerini analiz etmişlerdir. Uçakta motor ve uçuş görev seviyelerinde geleneksel turboprop ile elektrikli güç aktarma organlarının çeşitli mimarilerini karşılaştırmışlardır. Mimarilerden turbo-elektrik (güç kontrollü ve doğrudan tahrikli), hibrit elektrik (seri ve paralel) ve saf elektrik konseptini incelemişlerdir. Performans modelleri ve uçuş görevi hesaplamaları yardımıyla yakıt tüketimi, CO_2 emisyonları ve uçak performansı üzerindeki etkiyi değerlendirmişlerdir.

Erturk ve Gomec (2020), MATLAB/Simulink ortamında 6 - DOF doğrusal olmayan model simülasyonu ile kalkış ve iniş aşamalarındaki aerodinamik girişim etkisinin analizlerini yapmışlardır. Kalkış ve inişteki çeşitli durumlar için uçak performans parametreleri, 6-DOF simülasyonları ve Amerikan Havacılık ve Uzay Bilimleri Enstitüsü trim tabanlı manevra yöntemini kullanarak hesaplanmıştır.

Comer vd. (2020) yaptıkları çalışmada, Auburn Üniversitesi'ndeki düzenli uçuş eğitim operasyonları sırasında oluşturulan uçuş veri kayıtları üzerinde geriye dönük emniyet analizi yapmışlar, geçmişe yönelik emniyet analizlerinden ziyade gerçek zamanlı emniyet analizlerini etkinleştirmeyi amaçlayan araştırmalar gerçekleştirmişlerdir.

Wan vd. (2020), yakıt ekonomisi ve kirletici emisyonun sera etkisi göz önünde bulundurularak, çok amaçlı uçak uçuş parametresi optimizasyonu modelini

oluşturmuşlardır. Bu optimizasyon yönteminin ağırlık faktörünü değiştirerek yakıt tüketimi ve sera etkisi arasında iyi bir uzlaşmaya sahip olduğunu göstermişlerdir.

Uçak performans parametreleri ile ilgili yapılan literatür araştırmasının sonucunda elde edilen bilgiler gruplandırılarak, metodoloji bölümünde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Metodu SWARA

Yapılan açık literatür taramasında ÇKKV metotlarının havacılık alanında yapılan çalışmalarda çok fazla uygulanmadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmada kullanılan SWARA yöntemi ile yapılan farklı alanlardaki çalışmalar genel olarak değerlendirilmiştir. Bir ÇKKV metodu olan SWARA ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelenerek aşağıda sunulmuştur.

Keršuliene vd. (2010), yasama görevlerini çözmek için çok nitelikli sistemlerin temel uygulama ilkelerini ele almışlardır. Uyuşmazlık çözüm yöntemlerini ekonomik, sosyal ve diğer açılardan değerlendirmek için, çözümleri birden çok niteliğe göre değerlendirme yöntemlerini uygulamak gerektiğini vurgulamışlardır. Bilinen tüm çok-nitelikli yöntemlerin, öznel ağırlıklarını değerlendiremediğinden, özneliğin bir ağırlığının diğer öznelikten daha yüksek veya daha düşük anlamı olduğundan bahsetmişlerdir. Yeni SWARA yönteminin, rasyonel karar belirleme sürecinde niteliklerin önem oranı hakkında uzmanların, avukatların veya ihtilaflı tarafların görüşlerinin dâhil edilmesini sağladığını söylemişlerdir. SWARA yönteminin, uzmanlaşmış karar destek sistemlerinin pratik uygulamasında ve sanal ortamda alternatif uyuşmazlık çözümlerinde uygulanabileceğini vurgulamışlardır.

Zolfani ve Saparauskas (2013), enerji konusundaki güncel araştırmalar arasında önemli konulardan birinin, sürdürülebilir enerji geliştirme ve değerlendirmesi olduğundan bahsetmişlerdir. Artan enerji talebi ve tüketimi ile ilgili olarak, dünyadaki hemen hemen herkesin entegre bir kaynak planlaması uygulaması gerektiğini, sürdürülebilir büyümenin sağlanmasının hayati önem taşıdığını vurgulamışlardır. Enerji sisteminin üzerinde karar vermenin çok riskli ve zordur olduğundan bahsetmiş, bu nedenle de ÇKKV metodundan yararlanmışlardır. SWARA'nın, kriterlerin önemini ve her bir kriterin göreceli ağırlıklarını belirlemek için geliştirildiğini vurgulamışlardır. SWARA'yı enerji sisteminin sürdürülebilirlik değerlendirme göstergelerini değerlendirmek ve önceliklendirmek için yeni bir yöntem olarak çalışmada

kullanmışlardır. Genel gösterge sistemini Kaynak Göstergesi, Çevre Göstergesi, Ekonomik Gösterge ve Sosyal Gösterge ve bunların alt kriterlerinden oluşturmuşlardır. Araştırma sonucunda, en önemli gösterge Sosyal Gösterge (0.342) olarak belirlenmiştir.

Zolfani vd. (2013), yeni bakış açılarıyla ürün üretme ve tasarlamada Yin-Yang dengesi teorisini kullanan özel durumlar için yeni yöntem sunmuşlardır. Uluslararası üreticiler ve endüstriler için ürün üretimindeki genel durumları ele almışlardır. Bu konudaki önemli kriterlerin önceliklendirilmesi için SWARA yöntemini uygulamışlardır. Bu araştırmanın önceliklerine göre; her ürün ve uygulamanın genel özellikleri, maliyet kontrolü ve nihai fiyatlandırma politikaları, ılımlı bir bakış açısıyla görünüm, ayrıntılı pazarlama araştırmaları, ayrıntılı olarak hedef pazarları belirleme ve üretim yeteneklerine özel dikkat olmak üzere altı kriteri incelemişlerdir.

Zolfani ve Bahrami (2014), gelişmiş ülkelerin yüksek teknoloji endüstrilerine ne kadar çok önem verdiğinden bahsetmiş, gelişmekte olan ülkelerin önceliklerinden birinin bu tür endüstrilerdeki ilerleme olduğunu vurgulamışlardır. İran'daki yüksek teknoloji endüstrilerinin öncelikli olarak karar verme ve politika oluşturma üzerine odaklanmış olduğunu ve bu alanda karar vermek için bu araştırmada iki ÇKKV yönteminin uygulandığını belirtmişlerdir. Kriterleri değerlendirmek ve ağırlıklandırmak için SWARA ve alternatifleri değerlendirmek ve sıralamak için Karmaşık Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment - COPRAS) uygulamışlardır. SWARA ve COPRAS ile karar vermek için bu araştırmaya farklı alanlardan on bir uzmanı dâhil etmişlerdir. Bu araştırma için Biyomedikal Mikro Elektromekanik Sistemler, Nano Teknoloji, Biyoteknoloji ve Biyomedikal Mühendisliği dâhil olmak üzere dört yüksek teknoloji endüstrisi seçmişlerdir. Bu endüstrileri ülkenin potansiyeline göre seçmişlerdir. Nihai sonuca göre, Nanoteknolojinin İran'da önceliklerin başında olduğunu vurgulamışlardır.

Ghorshi Nezhad vd. (2015), en üst düzeyde karar verme ve planlamanın oldukça karmaşık olduğundan, her hükümetin ve politika yapıcıların önemli görevinin, gelecekteki sorunlar için farklı düzeylerde planlama yapmak olduğunu vurgulamışlardır. Üzerinde durulan vaka çalışması, nanoteknoloji endüstrisi ve İran'daki gelişimidir. Nanoteknolojinin diğer endüstrilerdeki farklı uygulamalarına dayalı olarak farklı alternatifleri seçmişlerdir. Alternatifler şunlardır: tarım, ulaşım, inşaat, petrol ve gaz, tekstil ürünleri, gıda sanayi, savunma sanayi, sağlık ve tıp, nano elektronik, nano enerji, çevre ve su. Kullanılan metodoloji ÇKKV yöntemleridir. Ayrıca kriterleri

değerlendirmek için SWARA, alternatifleri değerlendirmek ve sıralamak için Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) WASPAS'ı kullanmışlardır.

Stanujkic vd. (2015), ambalaj seçiminde, SWARA yöntemine ve grup kararına dayalı olarak müşteri tercihlerini karşılayan uygun ambalaj tasarımının seçilmesi için çalışma yapmışlardır. Önerilen yöntemin kullanılabilirliği ve verimliliğini, Black Tamjanika adlı üzüm çeşidinin şarabı için uygun ambalaj tasarımının seçilmesi sırasında test etmişlerdir. İncelenen örneklerden hareketle, SWARA yönteminin benzer birçok problemin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu yöntemin önemli sayıda ÇKKV problemini çözmek için kolayca ayarlanabileceğinden bahsetmişlerdir.

Radović ve Stević (2018), kriterlerin ve alt kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesi için SWARA yönteminden yararlanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, en önemli göstergelerin araç kullanımı, gerçekleştirilen rota ve turlar, ulaşım maliyetleri gruplarına ait olduğunu göstermektedir.

Zolfani vd. (2018), uzmanların fikrinin güvenilirlik değerlendirmesi ile karar verme sürecinin kalitesini artırmak için SWARA yöntemini genişletmeyi amaçlamaktadır. Politik durumlarda SWARA yönteminin kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. İki önemli adımın olduğundan bahsetmişlerdir. Birincisi, uzmanlara danışılarak kriterlerin önceliklendirilmesi ve ikincisi ise ağırlıklandırma sürecidir. Bu araştırmayla, uzmanların fikirlerinin güvenilirlik değerlendirmesini ilk adıma dâhil ederek karar verme sürecinin kalitesini artırmak için aşamalı ağırlık değerlendirme oranı analizini genişletmeyi amaçlamışlardır. Bu tür özelliğin, diğer tüm benzer modellerde ilk adımda olmadığını ve bu nedenle de, bu tür bir değerlendirme için aşamalı ağırlık değerlendirme oranı analizinin genişletilmiş versiyonunu uygulayabileceklerini vurgulamışlardır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve performansını test etmek için daha önceki bir çalışmadan sayısal bir örnek kullanmışlardır.

Prajapati (2019), tersine lojistik uygulamasının önündeki engellerin etkisini azaltmaya yönelik çözümleri belirlemeyi ve önceliklendirmeyi araştırmıştır. Araştırmanın amacına ulaşmak için SWARA ve WASPAS kullanan hibrit bir yöntem önermiştir. Engellerin göreceli etkisi, SWARA kullanılarak değerlendirilirken, WASPAS, tersine lojistik uygulamasına yönelik engellerin çözümlerine öncelik vermek için kullanılmıştır. Önerilen çerçevenin uygulanabilirliğini göstermek için bir Hint

elektrik imalat endüstrisinin ampirik vaka araştırması yapmıştır. Önerilen çözümlerin, aynı anda birden fazla engeli çözmede etkili ola bileceğinden, karar vericilere ve alan uzmanlarına, kısa vadeli ve uzun vadede tersine lojistik uygulamak için örgütsel faaliyet düzenlemelerini oluşturmaları için önemli bir statü verebileceğinden bahsetmiştir.

Ighravwe ve Oke (2019), sürdürülebilir uygulamaların uygunluklarını doğrulamak için yeni çok kriterli karar verme modelleri kullanarak kamu binaları için yeterli bakım stratejisinin nasıl seçileceğini ele almışlardır. SWARA, WASPAS, Bulanık Aksiyomatik Tasarım (Fuzzy Axiomatic Design - FAD) ve ARAS çalışmaya yetkin bir şekilde entegre etmişlerdir. Rehabilitasyon uygulamasındaki kriterleri değerlendirmek ve sıralamak için bir kamu binasından alınan anket verilerini kullanmışlardır.

Maghsoodi vd. (2019), hedef bazlı öznitelikleri içeren SWARA yöntemi ve Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme (Combinative Distance-based Assessment - CODAS) tekniği ile desteklenen hibrit bir karar verme yaklaşımı uygulayarak bir malzeme seçimi problemini ele almışlardır. İran'da gerçek dünya kavramsal bir baraj inşaatı projesine dayalı olarak optimal çimento malzemesi tipinin seçimine ilişkin çalışma, iki nitelik kategorisi, yani yönetsel konular ve teknik şartnameler dikkate alınarak önerilen yöntemle analiz edilmiştir.

Ghenai vd. (2020), yenilenebilir enerji sistemleri için sürdürülebilirlik göstergelerinin değerlendirilmesine ilişkin bazı araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında çok kriterli karar verme modeli ve hibrit SWARA/Katkı Maddesi Oranı Değerlendirmesi (Additive Ratio Assessment - ARAS) yöntemi kullanılmışlardır. Beş sürdürülebilirlik kriterini (kaynak, çevresel, ekonomik, sosyal ve teknoloji) ve on dört alt kategori (alan, malzeme, enerji inşaatı, enerji-yakıt, CO₂-inşaatı, CO₂-yakıt, sermaye-inşası, sermaye-yakıt, teslim edilen enerji maliyeti , mevcut kurulu kapasite, büyüme oranı, kapasite faktörü, sistem verimliliği ve kullanım ömrü) bu analize dahil etmişlerdir. Sürdürülebilirlik göstergelerinin hesaplanması için bu çalışmada üç enerji uzmanı ek olarak genişletilmiş SWARA ve ARAS hibrit yöntemini kullanmışlardır. SWARA-ARAS hibrit yöntemini kullanan dört yenilenebilir enerji teknolojisini beş sürdürülebilirlik kriteri ve on dört alt kategoriye göre sıralamanın nihai sonucu şudur: (1) rüzgar enerjisi sistemleri (karaya dayalı), (2) katı oksit yakıt hücresi, (3) fosforik asit yakıt hücresi ve (4) güneş enerjisi sistemleri (poli-silikon). Hibrit SWARA/ARAS yöntemiyle entegre edilmiş çok kriterli karar verme modelinin, yenilenebilir enerji sistemlerinin

sürdürülebilirlik değerlendirmesi, sürdürülebilir enerji gelişimi ve politika yapıcılar için yararlı bir metodoloji olduğunu vurgulamışlardır.

Rani vd. (2020), kararsız bulanık küme bağlamında arzu edilen sürdürülebilir tedarikçiyi değerlendirmek ve seçmek için COPRAS yöntemine ve SWARA yaklaşımına dayalı yeni bir çalışma yapmışlardır. Bu yöntemde, uzmanların tercihlerine göre kriter ağırlıklarının belirlenmesi için genişletilmiş bir SWARA yöntemi kullanmışlardır. Daha sonra, önerilen metodolojinin etkinliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için, Kararsız Bulanık (Hesitant Fuzzy - HF) ortamı altında sürdürülebilir tedarikçi seçimi probleminin ampirik bir vaka çalışmasını yapmışlardır. Ayrıca, sunulan metodolojinin kararlılığını kontrol etmek için duyarlılık analizi de yapmışlardır. Son olarak, elde edilen sonucun gücünü doğrulamak için mevcut yöntemlerle bir karşılaştırma yapmış ve geliştirilen çerçevenin diğer mevcut yaklaşımlardan daha tutarlı ve güçlü olduğunu doğrulamışlardır.

Kaya ve Erginel (2020), fütüristik havalimanı tasarımlarının, temiz ve uygun fiyatlı enerji, doğal kaynakların korunması, atıkların azaltılması, bir havalimanı çevresindeki doğal özellikler ve yeşil alan, sürdürülebilir ulaşım sistemi, havalimanlarının doğal yağmur suyu yönetimi vb. gibi sürdürülebilir kalkınma uygulamalarının gerçekleştirilmesinde yenilikçi olacağından bahsetmişlerdir. Sürdürülebilir havalimanı kalitesini artırmak için Bulanık SWARA ve Bulanık Uzlaşma Çözümüne göre Ölçüm Alternatifleri ve Sıralama (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution - MARCOS) yöntemini entegre eden yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Kararsız bulanık küme teorisinin, geleneksel bulanık kümeler, tip-2 bulanık kümeler gibi diğer bulanık küme teorilerine kıyasla, bulanık sayılara karar verirken insan doğasındaki tereddüdü yansıttığından bahsetmişlerdir. Bulanık Sürdürülebilir MARCOS yönteminin ilk aşamasında Bulanık SWARA dikkate alınarak gereksinimleri değerlendirmişlerdir. Ardından havalimanının sürdürülebilir kalite yönetimini geliştirmek için sürdürülebilir tasarım gerekliliğine öncelik vermişlerdir. Son olarak, önerilen yöntemin fizibilitesini ve rasyonelitesini aydınlatmak için havalimanının sürdürülebilir gelişimi ile ilgili bir vaka çalışması kullanmışlardır. Vaka çalışmasından elde edilen sonuçlarla, Kararsız MARCOS, sürdürülebilir havalimanı tasarımının erken planlama aşamasında pratik ve yapısal bir metodoloji olabileceğini göstermişlerdir.

Ghoushchi vd. (2020), belirsizlik ve güvenilirlik kavramlarını eş zamanlı olarak ele almışlardır. Risk faktörlerinin ağırlıklandırılması, Z-sayı teorisine dayalı SWARA – Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis – GRA) entegre yöntemini kullanarak

arızaların önceliklendirilmesi ve arızaların tam önceliklendirilmesi süreçlerini uygulamışlardır. Ağırlıkların simetrik formunun atanması ile birlikte önem, oluşum ve tespit faktörlerine ek olarak maliyet ve zaman gibi önemli yönetim endekslerini de dikkate almışlardır. Bu da sonuçların yorumlanabilirliğini arttırmış ve karar vericinin risk önceliklendirmesinde öznelliğini azaltmıştır. Geliştirilen modeli, arıza modu ve etki analiz ekibi tarafından belirlenen 19 arıza modu ile güneş paneli verilerine uygulamışlardır. Araştırmanın sonucuna göre geleneksel arıza modu ve etki analizine ve bulanık GRA yöntemlerine göre arızaların daha eksiksiz ve gerçekçi bir şekilde önceliklendirilmesini sağladığını göstermişlerdir.

He vd. (2021), Hindistan Himalaya bölgesi bağlamında sürdürülebilir toplum temelli turizmin mevcut durumunu incelemek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu bağlamda, uzmanların görüşlerini kullanılarak kapsamlı bir çerçeve oluşturmuş ve sürdürülebilir toplum temelli turizm çalışmaları ile ilgili literatürü gözden geçirmişlerdir. Bu amaçla, Aralık-Değerli Pisagor Bulanık Kümeleri altında SWARA ve Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon (Multiple Objective Optimization based on the Ratio Analysis – MULTIMOORA) ve Tam Çarpımsal Form kullanan entegre bir karar verme yöntemi geliştirmişlerdir.

Ulutaş vd. (2021), lojistik riskleri değerlendirmek için Plitojenik SWARA kullanmışlardır. Bu çalışmada ele alınan lojistik riskler; ulaşım ile ilgili riskler, satın almayla ilgili riskler, envanterle ilgili riskler, bilgiyle ilgili riskler, paketlemeyle ilgili riskler, operasyonel riskler, coğrafi konumla ilgili riskler, doğal afetle ilgili riskler ve kuruluşla ilgili risklerdir. Standart SWARA yaklaşımı ile karşılaştırıldığında, Plitojenik SWARA yönteminin, grup karar verme konularında bilgi kaybetmeden kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Önerilen tekniğin, lojistik profesyonellerinin bilinçli kararlar vermesine ve riskleri daha verimli bir şekilde yönetmesine ve analiz etmesine yardımcı olacağından bahsetmişlerdir. Bu çalışmada aynı zamanda lojistik riskleri ilk kez Plithojenik SWARA tekniği kullanarak ele almışlardır.

İncelenen literatür araştırmaları sonucunda SWARA metodu için kararvericilerin 3 ila 8 kişiden oluşturulduğu görülmüştür. Bu çalışmada havacılık alanında uzman 5 kararvericinin görüşleri alınmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışma ile havacılık alanında ÇKKV metodu olan SWARA metodu kullanılarak literatüre katkı sağlanmıştır.

3. METODOLOJİ

3.1. Uçak Performansı

Uçak, havada uçuş için kullanılan veya kullanılması amaçlanan dinamik bir sistemdir. Ana uçak kategorileri; uçak, planör, rotorlu taşıt ve havadan hafif araçlardır. En yaygın uçak tipi, kanatların gövdeye bağlı olduğu ve kaldırma yaratacak şekilde bağımsız hareket etmesinin amaçlanmadığı sabit kanatlı konfigürasyondur. İlk tasarım aşamasında dikkate alınması gereken temel uçak parametreleri maksimum kalkış ağırlığı, kanat referans alanı ve motor itki/gücüdür. Bu parametreler, uçak tasarımı için kritik öneme sahiptir ve boyut, maliyet ve hesaplama karmaşıklığını yönetir (Anderson, 1999).

Uçak performansı, uçağın belirli faydalı şeyleri başarma yeteneğini ifade etmektedir. Uçağın verimli ve ekonomik bir şekilde uçuşması için, uçak tasarlanırken ve test edilirken buna çok dikkat edilmektedir. Uçak performansı, hava aracının ağırlık merkezi hareket yasasını tanımlamak için önemli bir göstergedir. Temel uçuş performansı; maksimum seviye uçuş hızını, minimum seviye uçuş hızını, tırmanma oranını, tırmanma irtifasını, yükselme süresini vb. içermektedir. Uçak üreten şirketler; farklı hız, ağırlık, hava sıcaklığı, basınç ve yoğunluk gibi çeşitli koşullar altında uçağın en yüksek performansta uçuşması için çalışmalar yapmaktadırlar. Bunun için üretim esnasında çeşitli performans verileri hazırlanmaktadır. Performans verilerine örnek olarak; kalkış, tırmanma, menzil, dayanıklılık, iniş vb. sayılabilir. Uçak performansı; saha performansı, nokta performansı ve görev performansı olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. İlk kategori olan saha performansı; kalkış, reddedilen kalkış, iniş ve dengeli alan uzunluğu hesaplamalarını içermektedir. Saha performansı, zaman, mesafe ve yakıt tüketimi açısından genel uçuşun daha küçük bir bölümünü oluşturduğundan genellikle diğer performans değerlendirmelerinden ayrı olarak değerlendirilebilmektedir. İkinci kategori olan nokta performansı, zaman değişimine değil, yalnızca uçağın durumuna bağlı olan tüm hesaplamaları tanımlamaktadır. Bunlara örnek olarak manevra performansı (dönüş hızı, yük faktörü gibi) veya Spesifik Fazla Güç (Specific Excess Power - SEP) sayılabilir. Nokta performansı, uçuş mekaniği denklemleri kullanılarak doğrudan doğruya değerlendirilebilmektedir. Uçak performansının üçüncü kategorisi olan görev performansı, tüm uçuşa kapsamaktadır ve belirli bir yük için menzil ve dayanıklılık kabiliyeti ile sonuçlanmaktadır. Görev, öncelikle tırmanma, seyir ve iniş aşamalarından oluşmaktadır. Çok çeşitli olası görevler nedeniyle, karmaşık görev profillerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Görev hesaplamaları sırasında, uçak uçuş

durumunda sürekli değişikliklere uğramakta, bu nedenle uygun bir uçak modeli gerektirmektedir (Immer ve Juretzko, 2018).

Performans hesaplamaları, uçuş sırasında ana aşamalarda türetilmekte ve gerçekleştirilmektedir. Uçuş yolundaki ana aşamalar; seyir, kalkış, tırmanış ve iniştir. Uçaklar için ana performans tasarım analizleri seyir için yapılsa da; kalkış ve iniş parametreleri havayolları ve uçak potansiyel alıcıları için büyük önem arz etmektedir.

Uçak performansı iki yöntemle tahmin edilebilir:

Birinci yöntem, kavramsal tasarım aşamasında tam boyutlu veya ölçekli boyutlu detaylı modeller kullanılarak fiziksel simülasyonlar gerçekleştirmektedir. Bu yöntemin doğruluğu yüksek olmasına rağmen, çok fazla zaman ve maliyet gerektirmektedir.

İkinci yöntem, başarılı uçakların istatistiksel verilerinin ve mevcut uçak bilgilerinin kullanılmasıdır. Ardından, performans parametrelerini tahmin etmek için bu verilerin matematiksel denklemlerle hesaplanması gerekmektedir. Matematiksel denklemler türetilmiş ve farklı yazarlar tarafından farklı referanslarda sunulmuştur (Baroud, 2018).

Uçak performansı, kalkış, tırmanma, seyir, sürekli dönüş, alçalma ve iniş gibi çeşitli manevralar dikkate alınarak değerlendirmektedir. Jet eğitim uçağı, avcı uçağı veya akrobasi uçaklarının görevleri, uçağın aerodinamik özelliklerine, hava kuvvetleri ve ticari havayolu şirketleri gibi müşteri tarafından belirtilen gereksinimlere bağılı olarak bu manevraların kombinasyonları olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, hava aracının uçuş planlaması dikkatli bir şekilde tanımlanmalı ve belirtilen görevleri yerine getirmek için gerçek uçuştan önce genişletilmiş uçak performans analizleri simüle edilmelidir.

Aerodinamik veri tabanı, kontrol yüzeyi sapmaları, iniş takımları, hız frenleri vb. gibi her bir bileşenin etkilerini temsil etmeli ve bu etkileri ayırt edilmelidir. Bireysel etkilerin yanı sıra, daha doğru performans sonuçları elde etmek için kontrol yüzeyi sapmaları arasındaki aerodinamik müdahaleler de dikkate alınmalı ve modellenmelidir. Bu girişim etkileri, kontrol yüzeyi etkinliği, sürükleme ve kaldırma özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Örneğin, yatay kuyruğun ve arka kenar kanadının eşzamanlı olarak saptırılması, sürükleme kuvvetinde artabilir ve aynı miktarda tek yatay kuyruk ve ayrı ayrı tek arka kenar kanat sapmalarına kıyasla statik stabilite seviyelerinde değişikliklere neden olabilmektedir (Erturk ve Gomec, 2020).

Bu çalışmada seçilen uçak performans parametreleri uçak tasarım aşaması için belirlenmiştir.

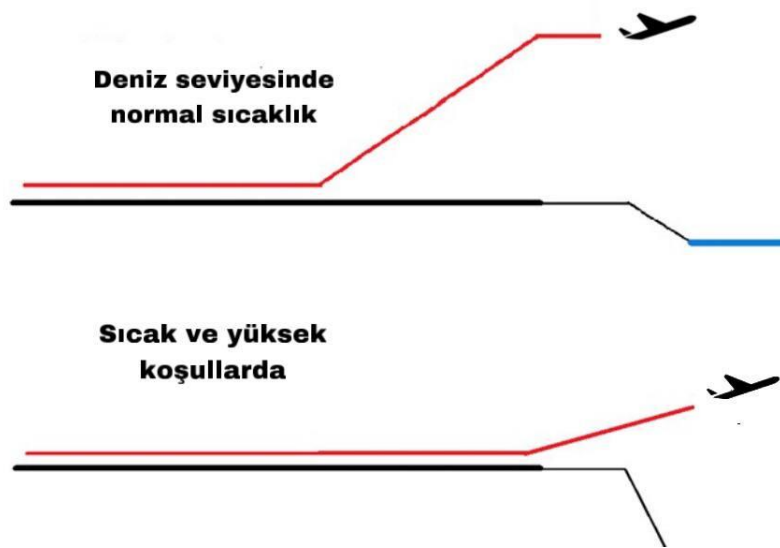
Uçak performansına etki edebilecek faktörler aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Sıcaklık

Sabit basınçta hava sıcaklıkları yükseldikçe, hava yoğunluğu da azalır, bu da belirli bir hava hızında uçak kanadının daha az kaldırma kuvveti oluşturmaya neden olur ve potansiyel olarak havada olan uçaklara bir ağırlık kısıtlaması getirir.

Ortalama olarak, günlük maksimum sıcaklıkta gerçekleşen yıllık uçuşların %10-%30'unun, maksimum kalkış ağırlıklarının altında bir miktar ağırlık kısıtlaması gerektirebileceği ve ortalama kısıtlamaların, toplam uçak yükünün %0,5-%4'ü arasında değişen ortalama kısıtlamalar gerektirebileceği bilinmektedir.

Uçak kanadı tarafından üretilen kaldırma kuvveti, kanat yüzeyi boyunca kütle akışının bir fonksiyonudur; daha düşük hava yoğunluklarında, belirli bir kaldırma kuvveti üretmek için daha yüksek bir hava hızı gereklidir. Belirli bir pist ve uçak için, pist uzunluğu, lastik hızı veya frenleme enerjisi üzerindeki performans limitleri nedeniyle uçağın maksimum kalkış ağırlığında kalkışın imkânsız olduğu bir sıcaklık eşiği vardır. Daha yüksek bir hıza ulaşmak için daha uzun pist gerekir ve havalimanının pistinin ne kadar uzun olduğuna bağlı olarak, bazı uçaklar yeterli hıza ulaşamama riskiyle karşı karşıya kalabilir. Bu eşik sıcaklığın üzerinde, kalkışa izin vermek için yolcuların, kargoların ve yakıtın kaldırılmasını gerektiren ağırlık kısıtlaması uygulanmalıdır. Şekil 3.1.'de uçağın normal ve yüksek sıcaklıklarda nasıl kalkış yaptığının örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı sıcaklıkların uçağın kalkışına etkisi (http-3)

Ağırlık kısıtlaması büyük ölçüde kalkış ağırlığına bağlıdır. Uçuşun maksimum kalkış ağırlığının çok altında kalkış yapması planlanıyorsa, yüksek sıcaklıklarda bile ağırlık kısıtlamasına muhtemelen gerek kalmayacaktır. Kalkış ağırlığının dağılımı, rota mesafesi, kargo ve yolcu yükleri, yakıt rezervleri dâhil olmak üzere havayolu operasyonlarının özelliklerine bağlıdır ve tahmin edilmesi zordur (Coffel vd. 2017).

3.1.2. Buzlanma

Uçak buzlanmasının, uçağın performansı, dengesi ve kontrolü üzerinde benzersiz bir etkiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Havacılıkla ilgili son gelişmeler ve araştırmalar, ağır hava koşullarında bile uçakların güvenli uçuşu konusuna odaklanmıştır. Bu tür hava koşullarının bir türü olan buzlanmanın, uçağın uçuş performansı üzerinde belirgin bir şekilde olumsuz etkisi olduğu ve birçok ölümcül kazaya neden olduğu bilinmektedir. Havayolu taşımacılığında emniyet ve maliyet tasarrufu en önemli hususlardandır. Günümüzde mevcut havacılık araştırma ve geliştirme çalışmaları, zorlu hava koşullarında emniyetli ve güvenilir uçuşlar yapmaya daha fazla odaklanmaya başlamıştır. Uçak gövdesinin aerodinamik özellikleri, değişikliklerin erken safhalarında belirlenmelidir ve böylece pilot veya otomatik pilot, olası bir kazadan kurtulmak için en önemli düzeltici önlemleri almalıdır. Kırık hareketli yüzeyler, yıldırım çarpması hasarları, kanat veya kuyruk uçlarında buzlanma, uçakta yapısal değişiklikler olarak kabul edilebilir.

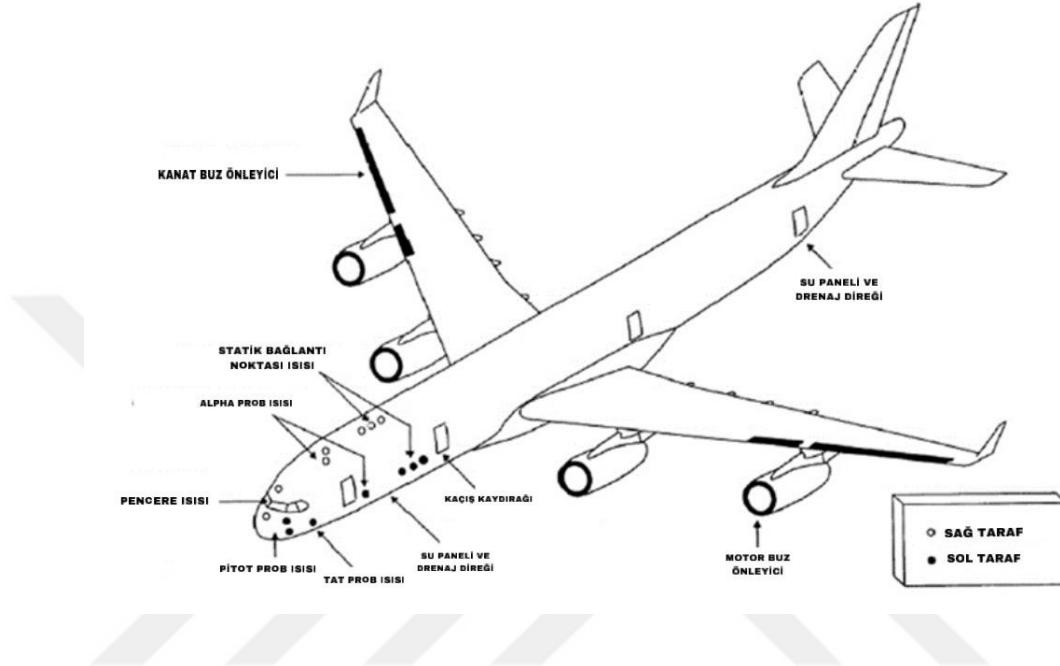
Belirli boyutlardaki aerodinamik değişiklikleri bilmeden, uçak performansı ve maliyet tasarrufu başarılı bir şekilde hesaplanamaz ve sürdürülemez. Bazen bu değişiklikler büyük boyutlarda olabilir ve uçak performansını önemli ölçüde etkiler.

Buzlanma öncelikle kanat, kuyruk ve motorun ön kenarında meydana gelir. Ölçüm problemleri ve drenler gibi diğer bazı çıkıntılarda olabilir. Problemler ve drenajlar, sızan sıcak hava ile elektrikle ısıtılır. Çoğu uçakta yatay ve dikey kuyrukta buz çözme sistemi yoktur.

Uçuş sırasında buzlanma, uçuş performansını, stabilitesini ve kontrolünü önemli ölçüde değiştirebilir. Buzlanma, kaldırmanın azalmasına, sürtünmenin artmasına ve kontrol etkinliğinde azalmalara neden olabilir. Ayrıca en yaygın uçaklarda bulunan mevcut buz koruma sistemi motorun sıcak havasını kullanır. Bu, motor performansının düşmesine az da olsa etki eder. Sızan sıcak hava kullanımı ile yakıt tüketimi artmakta ve maksimum motor gücü düşmektedir.

Hâlihazırda buz birikimi tehditleriyle ilgilenen iki ana yaklaşım vardır. İlk olarak, olası buzlanma koşullarından kaçınmak için pilotlara uçuş öncesinde ve sırasında tam

hava durumu bilgisi verilir. İkinci olarak, uçaklar kalkıştan önce tamamen buzdan arındırılır ve ardından uçuş sırasında buzun giderilmesini sağlamak için Buz Koruma Sistemi (Ice Protection System - IPS) çalıştırılır. Böyle bir sistem, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi modern bir Airbus A340-300 uçağında mevcuttur.



Şekil 3.2. Farklı lokasyonlarda buzlanma için Airbus A340-300 üzerinde çözümler (Caliskan ve Hajiyeve, 2013)

IPS, danışma veya birincil kapasitede çalışır. Danışma sistemleri, buzlanma ve çevre sensörlerinden alınan verilere dayanarak buz koruma cihazlarını etkinleştirmesi uçuş ekibi tarafından yapılır. Çoğu klasik uçakta buzlanma sensörleri bulunmaz ve pilotlar, kanatların ve kontrol yüzeylerinin görsel olarak incelenmesiyle buz birikiminin seviyesini belirler. IPS, esas olarak, buzlanmayı önlemek için sıcak motor egzozunu kanatlara akıtan cihazlardan veya biriken buzu kıran düzleştirilebilir botlardan oluşur.

Havacılık emniyetinin ölçüsü olarak, uçak kazalarının ve olaylarının nedenlerinin netleştirilmesi ve ardından tamamen ortadan kaldırılması gerekmektedir. Uçak buzlanması, biriken buzun aerodinamik performans üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı büyük bir endişe kaynağıdır. Küçük miktarlarda buz, uçak dinamikleri üzerinde aşırı bir etkiye sahip olabilir. Buzlanma ile ilgili kazaların çoğu, aerodinamik yüzeylerinin şeklini değiştirerek uçağın performansını ve dengesini etkileyen buz birikmesinin sonucu

olarak meydana gelir. Buzlanma olayları arasında motor arızası ve pervane buzlanması daha yaygındır (Caliskan ve Hajiyeve, 2013).

3.1.3. Mikro patlamalar

Mikro patlamalar, uçak performansını ve uçuş emniyetini azaltabilen, iyi bilinen bir atmosferik fenomendir. Mikro patlamalar yere yakın yerlerde meydana gelir ve genellikle iniş ve kalkış operasyonları sırasında karşılaşılır. Uçak açısından, başlangıçta karşı rüzgâr, daha sonra aşağı yönlü bir rüzgâr ve son olarak kuyruk rüzgârı olarak görülür. Uçak karşıdan rüzgârla ilk karşılaştığında performansta bir artış yaşar. Tırmanışı önlemek için pilot, gücü azaltmak gibi önlemler almalıdır. Uçak aşağı hava akımına ve arka rüzgâra geçerken, uçağın performansı hızla düşer (Pokhariyal vd. 2001).

3.1.4. Yakıtlar

Yüksek oktanlı yakıtların hem motor hem de uçak performansını iyileştirmedeki avantajları günümüzde kabul edilen bir gerçektir. Özgöl Yakıt Tüketiminin (Specific Fuel Consumption - SFC) azaltılmasına ilişkin veriler, güç çıkışıyla ilgili olanlardan daha yetersizdir. İyileştirilmiş motor performansının kalkış, tırmanma ve menzil ile ilgili olarak uçak performansı üzerindeki etkileri hala biraz belirsizdir. Mevcut verilerden, oktan sayısı artışının motor ve uçak performansı üzerindeki olağanüstü etkileri, 87 oktan yerine 100 oktan sayısına sahip bir yakıt kullanıldığında performans kazanımlarını temsil eden aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Yakıt iyileştirmesi, eklenen kalkış çıkışında tamamen tüketildiğinde, bu, sıkıştırma oranını değiştirmeden artırılmış takviye ile gerçekleştirilir. Spesifik seyir yakıt tüketiminde iyileştirme istendiğinde, bu hem hava-yakıt oranı, hem de silindir sıkıştırma oranı artırılarak elde edilir ve yeterince yükseltilirse, kalkış gücünü fiilen azaltabilir (Heron ve Beatty, 1938).

3.1.5. Lastikler

Uçak lastikleri, iniş ve kalkış gibi uçak yer manevraları sırasında frenleme ve yön kontrolü sağlamada çok yüksek performans gereksinimlerine tabidir. Lastikler uçak ağırlığını desteklemeli, frenleme ve hızlanma kuvvetlerini pist yüzeyine iletmeli ve ayrıca yön için gerekli kuvvetleri sağlamalıdır. Lastiğin, pistin ve uçağın özelliklerinin ve pilot tekniğinin uygun bir kombinasyonu, çok çeşitli operasyonel ve çevresel koşullarda bu

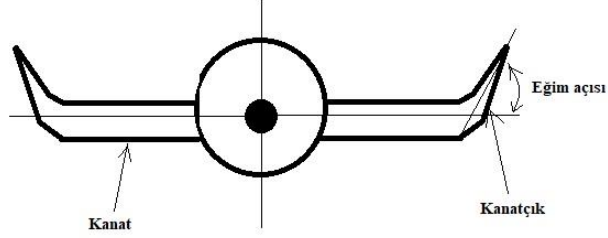
farklı gereksinimlerin karşılanmasını mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, yüksek performanslı jetlerin ortaya çıkmasıyla uçakların (yerde) kontrolü giderek daha zor hale gelmiştir. Özellikle su, kar ve buz gibi çevresel kirleticilerle kaplı pistlerdeki operasyonlar sırasında daha yüksek iniş ve kalkış hızları nedeniyle uçak kontrolü olumsuz etkilenebilmektedir.

Uçak kontrolünün derecesi, lastik pistle temas ettiğinde oluşan küçük bir alanda gelişen kuvvetlerden etkilenir. Kuvvetlerin büyüklüğü, temas alanı lastik fren sisteminin bileşenleri, pist yüzeyi ve kirletici maddeler ile ilişkili çok sayıda faktöre bağlıdır.

Uçağın frenleme ve yön yeteneği, sürtünme katsayısı olarak bilinen tek bir parametre ile ölçülür. Bu, uçak ağırlığının bir bölümü olarak temas alanı kuvvetlerinin bir ölçüsüdür; katsayı ne kadar yüksek olursa, uçak kontrolü o kadar iyi olur. Temas alanındaki çeşitli fenomenlerin etkileşimini ve bunların sürtünme katsayısı üzerindeki etkilerini açıklığa kavuşturmak için son 30 yılda kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Uçağın kontamine pistlerde kontrol edilebilirliğini tahmin etmek de aynı derecede önemli olmuştur. Bu çabalar, uçak lastiklerinin ve fren sistemlerinin tasarımında birçok iyileştirme ile sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, yön kontrolünün kaybını içeren kazalar ve olaylar endişe kaynağı olmaya devam etmektedir (Agrawal, 1986).

3.1.6. Kanatçığın etkisi

Herhangi bir kanatçığın temel amacı, uçağın sürüklenmesini azaltarak uçak performansını iyileştirmektir. Kanatçık terimi daha önce bir uçakta ek bir kaldırma yüzeyini tanımlamak için kullanılmaktaydı. Kanat ucu cihazları genellikle sabit kanatlı uçakların verimliliğini artırmaya yöneliktir. Şekil 3.3’de sabit kanatçıklı uçağın önden görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sabit kanatçıklı bir uçağın önden görünümü (Dinesh, vd., 2014)

Birkaç kanat ucu cihazı türü vardır ve farklı şekillerde işlev görmelerine rağmen, amaçlanan etki her zaman uç girdap enerjisinin kısmen geri kazanılmasıyla uçağın sürüklenmesini azaltmaktır. Kanat ucu cihazları ayrıca hava taşıtı kullanım özelliklerini iyileştirebilir ve emniyeti artırabilir. Bu tür cihazlar, kanat açıklığını önemli ölçüde artırmadan kanadın efektif en boy oranını artırır. Açıklığın artırılması; kaldırma kaynaklı sürtünmeyi azaltır, parazitik direnci artırır, kanadın kuvvetini ve ağırlığını artırır (Dinesh vd. 2014).

3.1.7. Yağmurun etkisi

Yağmur, uçak uçuş emniyetini tehdit eden önemli bir meteorolojik faktör olarak kabul edilmiştir. Yağışların uçak aerodinamiği üzerindeki olumsuz etkileri, havacılık sektöründe araştırılan önemli konulardan biridir.

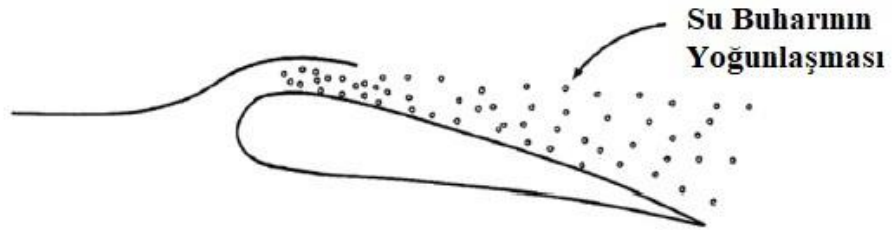
Hava aracı yağmurlu havada uçtuğunda, özellikle kalkış ve iniş aşamalarında, yağmurun etkileri uçuş emniyetini tehdit eder. Yağmur uçak performansına olumsuz bazı etkiler etmektedir. Yağmurun neden olduğu görünürlük azalması kesinlikle iyi bilinen bir olaydır. Çok sayıda yağmur damlacıkları gelen ışığın saçılması yoluyla, görüş mesafesini 400 m'nin altına düşürebilir. Pistte biriken su, uçağın kalkışı ve inişi için tehlike oluşturabilir. Tekerleklerden ve uçağın altından sıçrayan büyük su birikintileri motorun alev almasına neden olabilir. Biriken su iniş aşamasında da uçaklar için tehlikeli sayılmaktadır. Büyük su birikintileri, uçağın frenleme hareketini engelleyebilir, daha uzun durma mesafesine ihtiyaç duyulabilir ve hatta pistten kaymaya neden olabilir.

Kanatların ön üst yüzeyine ve gövdenin ön bölümüne çarpan yağmur damlaları, aşağı ve geriye doğru bir momentumun yanı sıra, uçağın burnunu aşağı eğimli hale getiren ve Şekil 3.4’de gösterildiği gibi kanat üzerindeki basınç merkezini değiştiren bir tork verecektir.



Şekil 3.4. Uçakta uygulanan yağmur kaynaklı tork ve basınç merkezindeki değişim (Luers, 1983).

Su buharı yoğunlaşma bulutu, kanat profilinin üzerindeki düşük basınç bölgesinde geniş ölçüde meydana gelebilir ve su damlalarının gizli ısısını serbest bırakarak uçak performansına önemli ölçüde zarar verebilir. Şekil 3.5’te bu etki gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Su buharı yoğunlaşmalı kanat profili sınır tabakasının olası istikrarsızlaştırma etkisi (Luers, 1983)

Kanatların yüzeyinde biriken yağmur damlaları, kanatları etkili şekilde pürüzlendirebilen ve uçak kütlesini artırabilen dalgalı ve düzensiz su filmi oluşturmaktadır. Pürüzlü kanat profili, basınç dağılımında, uçağın kontrol girişini olumsuz yönde etkileyebilecek bir değişikliğe neden olmaktadır. Ayrıca, hücum kenarı çıtaları kalkış veya iniş konfigürasyonlarında uzatıldığında, hücum kenarı çıtası ile ana kanat profili bölümü arasında bir boşluk oluşur. Ön kenar slatında bulunan su filmi, ana kanat profili bölümüne yeniden bağlanmazsa, mevcut su tabakası bir yandan boşluğu tıkayarak arka kenarın erken ayrılmasına ve uçağın kontrolünün elden çıkmasına neden olabilir (Cao vd. 2014).

3.1.8. Malzemenin etkisi

Uçağın performansındaki iyileştirmeler, uçak yapım malzemeleriyle yakından bağlantılıdır. Hafif, çöktürme ile sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarının, ısıtma işlem görebilen titanyum alaşımlarının ve daha yakın zamanda Cam Elyaf Takviyeli Polyester (Fiber Reinforced Polymer - FRP) kompozitlerin geliştirilmesiyle ilgili atılımlar, uçağın yapısal ağırlığını önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılmıştır. Bu, uçakların daha uzağa ve daha hızlı uçuşlarına olanak sağlamış, daha büyük uçakların üretilmesine yardım etmiş, yakıt tüketimini azaltarak ticari uçuşu daha ekonomik hale getirmiştir. Daha hafif, daha sert, daha güçlü, daha az yorulmaya duyarlı, daha fazla hasara dayanıklı ve daha fazla ısıya dayanıklı malzemelerin ortaya çıkması, hem gövde hem de uçak performansı açısından yeni nesil uçakların geliştirilmesinde önemli bir rol oynuyor. Uçağın yapısal ağırlığını azaltmanın en etkili yolu, yapısal malzemelerin yoğunluğunu azaltmaktır. Malzeme sınıfını karakterize eden düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve makul ölçüde yüksek mukavemetin iyi kombinasyonundan dolayı, FRP'ler uçak üretimi için çok uygundur (Immarigeon, vd., 1995).

3.1.9. Uçak ağırlığının etkisi

Uçağın ağırlığı, sadece kalkışta değil, tüm uçuş süresi boyunca önemlidir. Birçok uçak, özellikle de karmaşık yakıt sistemlerine sahip uçaklar, hem yakıt yanması sonucunda ağırlıklarını değiştirebilir, hem de ağırlık merkezlerini hareket ettirebilirler. Bu nedenle ağırlık ve denge hesaplanırken kalkış, iniş ve sıfır yakıt için konumların çizilmesi önemlidir. Sıfır yakıt ağırlığı ve dengesinin çizilmesi, uçağın uçuş süresi

boyunca sınırlar içinde olmasını sağlar. Birçok uçak, maksimum iniş ağırlığının çok üzerindeki ağırlıkta kalkış yapabilir. Örnek olarak eğitim uçağı olarak kullanılan daha yeni C-182'lerin maksimum kalkış ağırlığı 3100 lbs, maksimum iniş ağırlığı ise 2950 lbs'dir.

Ağırlık, uçak performansının tüm alanlarına etki eden bir faktördür. Uçağın kalkış/tırmanış ve iniş performansı, izin verilen maksimum kalkış ve iniş ağırlıkları temelinde belirlenir. Durma hızı, maksimum menzil hava hızı, maksimum dayanıklılık hava hızı, maksimum mesafe ve minimum süzülme hızları, tırmanma hızı ve manevra hızı doğrudan uçak ağırlığına bağlı uçak performansı örnekleridir. Ağırlığın uçak performansı üzerinde çok belirgin bir etkisi vardır. Uçağa ağırlık eklenirse, belirli bir irtifa ve hızı korumak için daha yüksek bir hücum açısıyla uçuşması gerekir. Bu, kanatların indüklenen sürtünmesini ve ayrıca uçağın parazit direncini artırır. Aşırı ağırlık, tırmanış sırasında aşırı ısınmaya, motor parçalarında ek aşınmaya, artan yakıt tüketimine, daha yavaş seyir hızlarına ve azalan menzile yol açan tüm tırmanış ve seyir performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Burton, 2016).

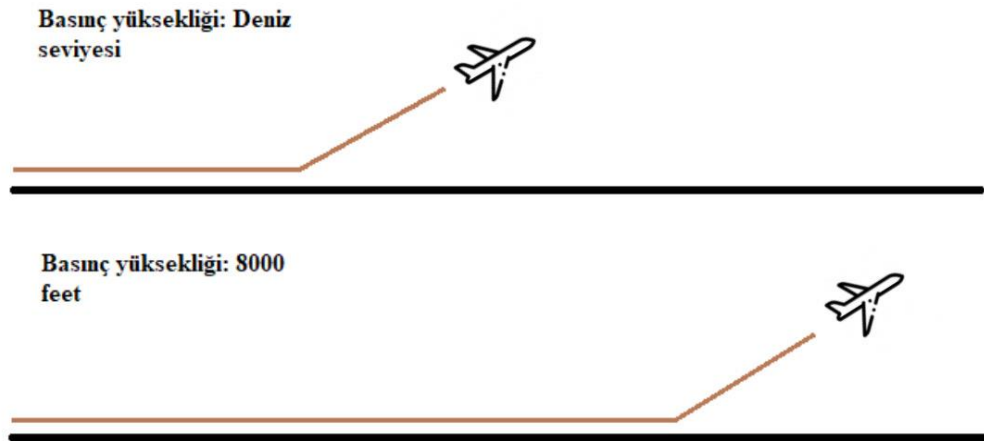
Ağırlık artarsa, uçak kendisini kalkış anında havaya kaldırmak için gerekli olan kuvveti üretmek için daha yüksek hıza ihtiyaç duyacaktır. Ağırlıktaki değişikliğin etkisine bir örnek olarak, kalkış ağırlığındaki %21'lik bir artış, kalkış hızında %10'luk bir artış gerektirecektir. Ağırlıktaki değişiklik, net hızlanma kuvvetini ve ivmelenen kütleliyi değiştirecektir. Uçağın nispeten yüksek bir itme/ağırlık oranı varsa, net hızlanma kuvvetindeki değişiklik hafiftir ve hızlanma üzerindeki asıl etki kütledeki değişiklikten kaynaklanır. Uçağın ağırlığı kaldırmaya karşıdır, bu nedenle yerden daha yüksek bir ağırlıkla kalkabilmek için daha fazla kaldırmaya gerek duyulur, bu da uçağın pistteki koşusunu daha arttırır.

Her uçağın sınıflandırılan ağırlıkları vardır. Standart boş ağırlık, temel boş ağırlık, faydalı yük, yük, maksimum rampa ağırlığı, maksimum kalkış ağırlığı, minimum uçuş ağırlığı ve maksimum iniş ağırlığı uçak ağırlıklarına örnek gösterilebilir (http-1; U.S. Dept. of Transportation, 2008).

Bu çalışmada gösterilen ağırlık faktörü uçağın tasarım aşamasında göz önünde bulundurulacak ağırlık faktörü olarak belirlenmiştir.

3.1.10. Basıncın etkisi

Çeşitli basınç türleri olmasına rağmen, uçaklarda esas olarak kabul edilen basınç türü atmosferik basınçtır. Basınç, uçağın havalanmasına yardımcı olur ve uçaktaki en önemli uçuş aletlerinden bazılarını çalıştırır. Hava çok hafif olmasına rağmen kütlesi vardır ve yerçekiminden etkilenir. Deniz seviyesindeki standart koşullar altında, atmosferin ağırlığının uyguladığı ortalama basınç, inç kare (psi) başına yaklaşık 14,7 pound'dur. Yükseklik arttıkça atmosfer basıncı azalır. Ortalama olarak, irtifadaki her 1000 feet artışla, atmosfer basıncı 1 cıva azalır. Basınç azaldıkça hava daha az yoğun veya daha ince hale gelir. Bu, daha yüksek bir irtifada olmaya eşdeğerdir ve yoğunluk irtifası olarak adlandırılır. Basınç azaldıkça yoğunluk irtifası artar ve uçak performansı üzerinde belirgin bir etki oluşturur (Learn to Fly, 2014). Görsel 3.1'de basıncın uçağın performansına etkisi gösterilmiştir.



Görsel 3.1. Artan irtifanın kalkış mesafesine etkisi (<http-4>)

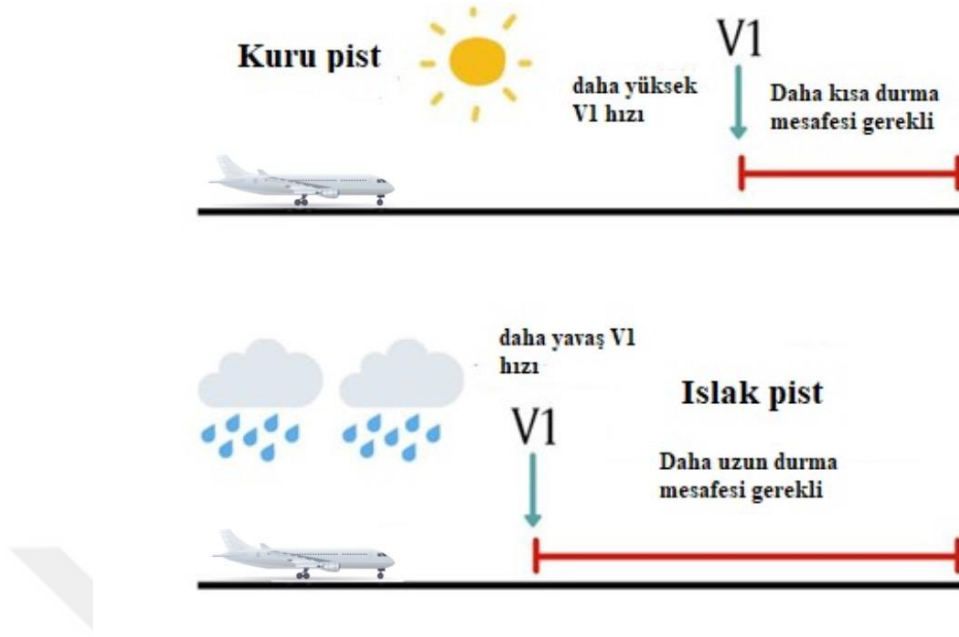
3.1.11. Pist yapısının etkisi

Pist koşulları, uçak performansını hem inişte, hem de kalkışta önemli ölçüde etkileyebilir. Pist yüzeyleri bir havaalanından diğerine büyük ölçüde farklılık gösterir. Karşılaşılan pist yüzeyi beton, asfalt, çakıl, kir veya çimen olabilir. Sert ve pürüzsüz olmayan herhangi bir yüzey, kalkış sırasında zemin yuvarlanmasını arttırır. Bunun nedeni, lastiklerin pist boyunca düzgün bir şekilde yuvarlanamamasıdır. Lastikler

yumuşak, çimenli veya çamurlu pistlere batabilir. Pistteki çukurlar veya diğer tekerlek izleri, pist boyunca kötü lastik hareketinin nedeni olabilir. Çamur, kar veya durgun su gibi engeller, uçağın pistte hızlanmasını azaltır. Çamurlu ve ıslak yüzey koşulları, pist ve lastikler arasındaki sürtünmeyi azaltabilse de, engel görevi görebilir ve iniş mesafesini azaltabilir. Frenleme etkinliği, çeşitli pist türleriyle uğraşırken göz önünde bulundurulması gereken diğer bir husustur. Yüzeyin durumu, uçağın frenleme kabiliyetini etkiler.

Pist eğimi, pistin uzunluğu boyunca pist yüksekliğindeki değişim miktarıdır. Gradyan, %3'lük bir gradyan gibi bir yüzde olarak ifade edilir. Bu, her 100 fitlik pist uzunluğu için pist yüksekliğinin 3 fit değiştiği anlamına gelir. Pozitif bir eğim, pist yüksekliğinin arttığını, negatif bir eğim ise, pistin yüksekliğinin azaldığını gösterir. Eğimli pist, hızlanmayı engeller ve kalkış sırasında daha uzun bir zemin koşusu ile sonuçlanır. Bununla birlikte, eğimli bir piste iniş, tipik olarak iniş rulosunu azaltır. Aşağı eğimli bir pist, kalkışta hızlanmaya yardımcı olur ve bu da daha kısa kalkış mesafeleri sağlar. Aşağı eğimli bir piste iniş, iniş mesafelerini arttırdığından, iniş sırasında bunun tersi geçerlidir.

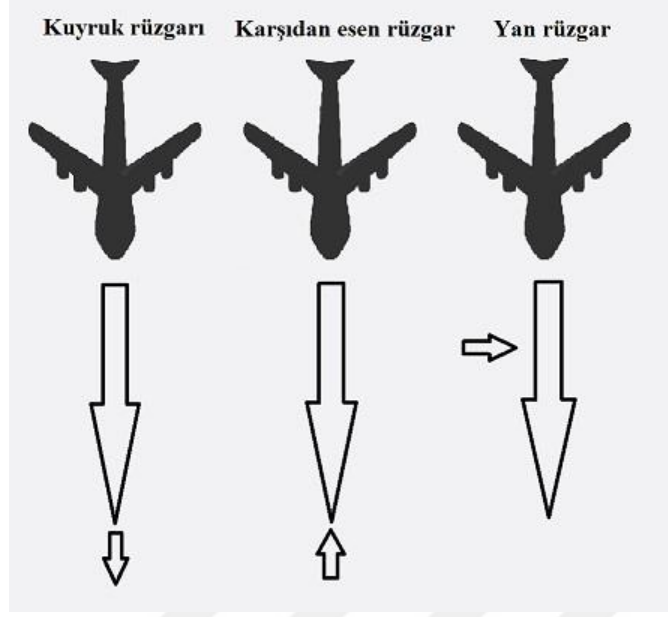
Ayrıca, pistte su olması da uçak performansını etkilemektedir. Pistteki su, lastikler ile zemin arasındaki sürtünmeyi azaltır ve bu da frenlemeye büyük etki gösterir. Lastikler suda hareket ederken frenleme yeteneği tamamen kaybolabilir çünkü bir su tabakası lastikleri pist yüzeyinden ayırır (U.S. Dept. of Transportation, 2008). Görsel 3.2'de kuru ve ıslak uçuş pistinin uçağın kalkışına etkisi gösterilmiştir.



Görsel 3.2. Pistin durumunun kalkışa etkisi (<http-5>)

3.1.12. Rüzgarın etkisi

Rüzgâr, uçağın preformansını etkileyen ana faktörlerden biridir. Üç ana rüzgâr türü vardır. Karşıdan rüzgâr, doğrudan uçağın önüne doğru esen rüzgârdır. Kuyruk rüzgârı, doğrudan uçağın arkasına doğru esen rüzgârdır. Yan rüzgâr, karşı rüzgâr veya arka rüzgâr dışında herhangi bir yönde esen rüzgârdır. Bu üç rüzgâr türü, uçağı farklı şekillerde etkiler. Görsel 3.3’de rüzgâr tiplerinin uçağa etkisi gösterilmiştir.



Görsel 3.3. Rüzgârın uçuşa etkisi (<http-6>)

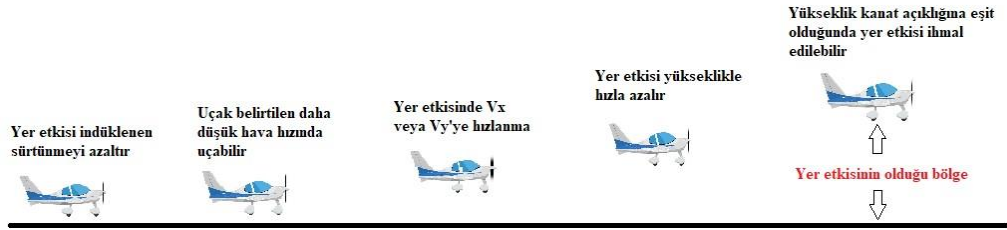
Rüzgâr hızı ticari uçaklar için nadiren sorun olsa da, baş edebileceklerinin bir sınırı vardır. Ana sorun kuvvetli yan rüzgârlardır, yani kalkış ve iniş yönüne yaklaşık olarak dik açılarda yatay rüzgârlardır. Bunlar saatte 35-40 milin üzerindeyse, uçağın kalkışı oldukça zor olabilir ve kalkış bir süre ertelenebilir.

Pistten karşı rüzgâr ile kalkış yapıldığı zaman kalkış mesafesi azalır. Arkadan esen rüzgâr ise, kalkış mesafesini daha uzun hale getirir. Yani rüzgâra doğru havalandığında uçak daha erken kalkar ve bu daha düşük bir yer hızına ve dolayısıyla uçağın havalanması için daha kısa bir kalkış mesafesine neden olur.

Rüzgârın kalkış mesafesi üzerindeki etkisi büyüktür ve kalkış mesafesi tahmin edilirken de uygun şekilde dikkate alınmalıdır. Karşı rüzgârın etkisi, uçağın kalkış hızına daha düşük bir yer hızında ulaşmasına izin verirken, arka rüzgârın etkisi, kalkış hızına ulaşmak için uçağın daha yüksek bir yer hızına ulaşmasını gerektirir. Kalkış hızının %10'u olan bir rüzgâr, kalkış mesafesini yaklaşık %19 oranında azaltacaktır. Ancak, kalkış hızının %10'u olan bir kuyruk rüzgârı, kalkış mesafesini yaklaşık %21 oranında artıracaktır. Karşı rüzgâr hızının kalkış hızının %50'si olduğu durumda, kalkış mesafesi sıfır rüzgâr kalkış mesafesinin yaklaşık %25'i olacaktır (Pilot Institute, 2021).

3.1.13. Yer etkisi (Ground effect)

Yer etkisi, uçuş halindeki uçağın etrafındaki akış modeli ile yüzeyin girişiminden kaynaklanmaktadır. Yer etkisi, uçak kanadının yere yakın olduğu zaman yatay yüzeylerinin kaldırma özelliklerini olumlu yönde etkilemesine verilen isimdir. Bu etki, zeminin yakınlığına atfedilebilen bu tür yüzeylerin altındaki hava akışının bozulmasının bir sonucudur. Yer etkisi, yüzeyin bir kanat açıklığına eşit bir irtifaya kadar algılanabilir ve ölçülebilir. Kanat yer etkisinin etkisi altındayken yukarı, aşağı ve uç girdaplarında azalma olur. Azalan uç girdaplarının bir sonucu olarak, indüklenen sürüklenme azalır. Kanat, açıklığın dörtte birine eşit bir yükseklikte olduğunda, indüklenen dirençteki azalma yaklaşık %25'tir ve kanat, açıklığın onda birine eşit bir yükseklikte olduğunda, indüklenen dirençteki azalma yaklaşık %50'dir. Görsel 3.4'de yer etkisinin kalkış zamanı uçağa olan etkileri gösterilmiştir.



Görsel 3.4. Uçağın kalkışı zamanı yer etkisi (Dubois, 2020)

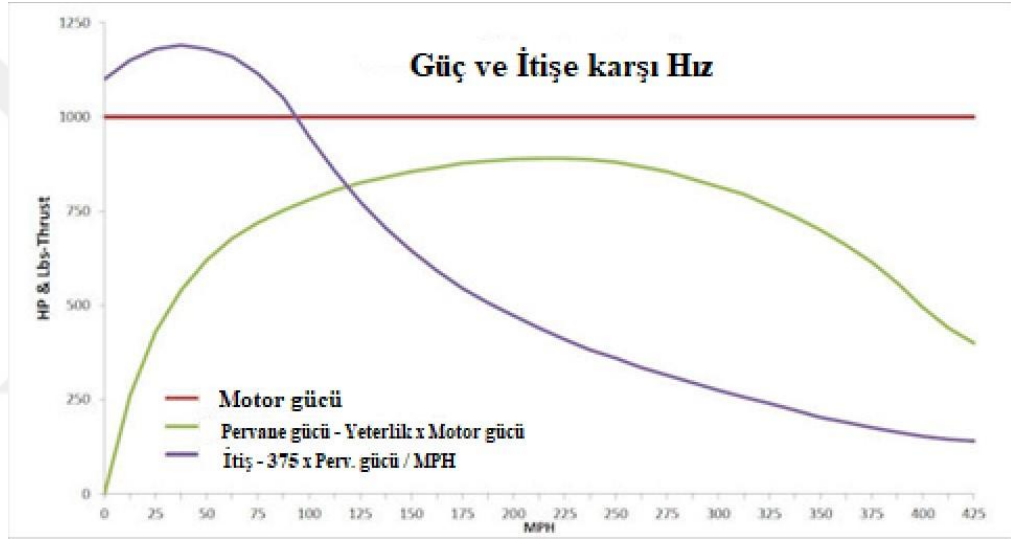
Parazit direncinin baskın olduğu yüksek hızlarda, indüklenen sürüklenme, toplam sürüklemenin küçük bir parçasıdır. Sonuç olarak, kalkış ve iniş sırasında yer etkisinin etkileri daha fazla endişe kaynağıdır (Dubois, 2020).

3.1.14. Pervane veriminin etkisi

Pervanenin amacı, pervaneye dönen bir şaft tarafından iletilen motor gücünü yarı doğrusal bir itme kuvvetine dönüştürmek ve bunu uygun bir araç hızı aralığında mümkün olduğunca verimli bir şekilde yapmaktır. Pervane, büyük bir hava kütesini daha düşük bir hızdan pervane diskinin arkasında daha yüksek bir hıza hızlandırarak itme üretir.

Pervane kanadı, karmaşık dönen kanattır. Sabit bir pervane devrinde ve aracın gerçek hava hızında, havanın nispi hızı (ve dolayısıyla kanat profilinin hücum açısı), pervanenin dönüş merkezinden kanat boyunca olan mesafeye göre değişir.

Pervane verimliliği hızlanmada büyük rol oynar. Yaklaşık %80 verimlilik noktasında, ileri hava hızındaki herhangi bir artış, sabit hatveli pervanelerde pervane verimliliğinde bir kayba neden olur. Yüksek hava hızlarında bu verimlilik eksikliği, aynı zamanda mevcut itiş gücünü ve gücü de azaltır. Şekil 3.6'da sabit bir atmosferik modelde belirli bir hız zarfı boyunca motor gücü, itme ve pervane gücü arasındaki genel ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Motor gücü, itme ve pervane gücü arasındaki eğri (<http-2>)

En iyi gelişmiş pervaneler, en yüksek dönüşüm verimliliği olan %90'a yaklaşabilir, ancak herhangi bir pervane, uç hızı optimum değerini aştığında verimlilik çok hızlı düşer (<http-2>).

3.2. SWARA

ÇKKV yöntemleri, son birkaç on yılda farklı alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle yeni yöntemler geliştikçe farklı uygulama alanlarındaki rolü de önemli ölçüde artmıştır. ÇKKV, çok boyutlu faktörleri hesaba katabilen ve bireysel kriterleri tek bir genel değerlendirmede birleştirerek o kriterlerin karşılaştırılmasını sağlayan bir karar verme aracıdır. ÇKKV, karmaşık karar verme

süreçlerini kolaylaştırabilir ve 1960'lardan beri dünya üzerindeki bir çok alanda kullanılmaktadır (Baran-Kooiker vd. 2018).

ÇKKV, günlük yaşam, sosyal bilimler, mühendislik, tıp, sağlık ve sosyal bilimleri kapsayan araştırma alanında veya bir durumda mevcut çeşitli seçeneklerin analizini içeren bir araştırma alanıdır. Ayrıca, çeşitli alanlarda kullanılan en popüler karar verme araçlarından biridir. ÇKKV, her bir kriterin belirli bir uygulama için olumlu mu yoksa olumsuz mu olduğunu belirlemek için kriterleri analiz eder. Ayrıca, karar vericiye minimum uzlaşma ve maksimum avantaj sağlayan bir seçeneği seçmede yardımcı olmak amacıyla, seçilen kriterlere dayalı olarak bu kriteri mevcut diğer tüm seçeneklerle karşılaştırmaya çalışır. Bu kriterlerin analizlerinde kullanılan kriterler kalitatif veya kantitatif kriterler olabilir (Ozsahin vd. 2021).

ÇKKV yöntemlerinden biri olan SWARA, en üst düzeyde karar verme ve politika oluşturmada güçlü bir yöntemdir. Bu yöntemin karar vermedeki en büyük avantajı, bazı problemlerde önceliklerin şirket veya ülke politikalarına göre tanımlanması ve kriterleri sıralamak için değerlendirmeye gerek olmamasıdır. Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process – AHP) veya Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process – ANP) gibi diğer yöntemlerde ise modeller kriterlere göre oluşturulur ve uzmanların değerlendirmeleri öncelikleri ve sıralamaları etkiler (Zolfani vd. 2015).

SWARA'nın bakış açısı AHP, ANP gibi diğer benzer yöntemlerden farklıdır. SWARA, karar vericilere ve politika yapıcılara, çevre ve ekonominin mevcut durumuna göre önceliklerini seçme şansı verir. Bu yöntemde, değerlendirmelerde ve ağırlıkların hesaplanmasında uzmanın önemli bir rolü vardır. Kriterlerin ağırlıklandırılması sırasında uzman görüşlerinin alınması bu yöntemin en önemli özelliğidir. Kriter önceliklendirme ve ağırlıklandırma süreci, çoklu nitelik karar vermenin önemli bir parçasıdır. En sık uygulanan çok kriterli karar verme araçları, analitik hiyerarşi süreci, aşamalı ağırlık değerlendirme oran analizi, faktör ilişkisi ve en iyi-en kötü yöntemleridir. Politikalar karar vermenin merkezinde olduğunda, SWARA yöntemi, kriter değerlendirmesi için en etkili yöntemdir. İki önemli adımı içerir: Birincisi, uzmanlara danışılarak kriterlerin önceliklendirilmesi, ikincisi ise ağırlıklandırma sürecidir. Ayrıca, SWARA yöntemi karmaşık değildir ve uzmanlar kolayca birlikte çalışabilir. Bu yöntemin karar vermedeki en büyük avantajı, bazı problemlerde önceliklerin şirket veya ülke politikalarına göre tanımlanması ve kriterleri sıralamak için herhangi bir değerlendirmeye gerek olmamasıdır. (Zolfani ve Saparauskas, 2013).

SWARA yönteminin diğer ağırlıklandırma araçlarına göre bazı avantajları vardır. Bu avantajlara örnek olarak; ağırlık belirleme sürecinde kriterlerin önem oranı hakkında uzmanların görüşlerini tahmin etme becerisinin olması, koordinasyona ve uzmanlardan veri toplamaya yardımcı olması, kullanıcı dostu ve basit olması ve sorun önceliklerini şirketlerin politikalarına göre ele alabilmesi gösterilebilir (Keršuliene vd. 2010; Zolfani vd. 2015). Bu nedenle, ağırlıklandırmadan önce sıralanacak kriterleri değerlendirmeye gerek yoktur. SWARA, politika yapıcılara farklı durumlara dayalı kararlar alma, istenen ihtiyaç ve hedeflere göre kriterleri önceliklendirme fırsatı hazırlar. Aynı şekilde yöntem, uzmanların yorumlarını bu tür önemli projelerin sürecine dahil etmektedir. Bu nedenle, SWARA yöntemi, şirketlerin üst düzeylerinde karar verme ve politika oluşturma sürecinde uygulanabilir bir araç olarak tanımlanmıştır (Karabašević vd. 2016).

SWARA yönteminin adımları aşağıda özetlenmiştir (Keršuliene vd. 2010; Karabašević vd. 2016; Zolfani ve Saparauskas, 2013; Ghenai vd. 2020; Zolfani ve Bahrami 2014; Adalı ve Işık, 2017; Zolfani vd. 2015):

Adım 1. İlk olarak, yapılacak çalışmayla ilgili karar komitesi ve kriterler belirlenmelidir. Her bir j kriteri ve i alt kriterine (kriter grupları varsa), uzman grubundaki her üye tarafından kendi örtülü bilgi ve tecrübesi kullanılarak diğer karşılıklarına göre bir sıra değeri verilir. Kriterleri beklenen önemlerine göre sıralarlar.

Adım 2. Klasik SWARA yönteminde, bu değer “ortalama değerin karşılaştırmalı önemi değeri” s_j olarak bahsedilmiş ve bir kriterin diğerine göre göreceli önemini ifade etmek için uzmanlar tarafından kaba sayılar belirlenerek elde edilmiştir. İkinci kriterden başlayarak bu adım uygulanır. Bu adımda karar vericiler tarafından her bir kriter kendinden bir sonraki kriter ile kıyaslanarak kriterlerin önem düzeyleri belirlenir.

Adım 3. k_j katsayısı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

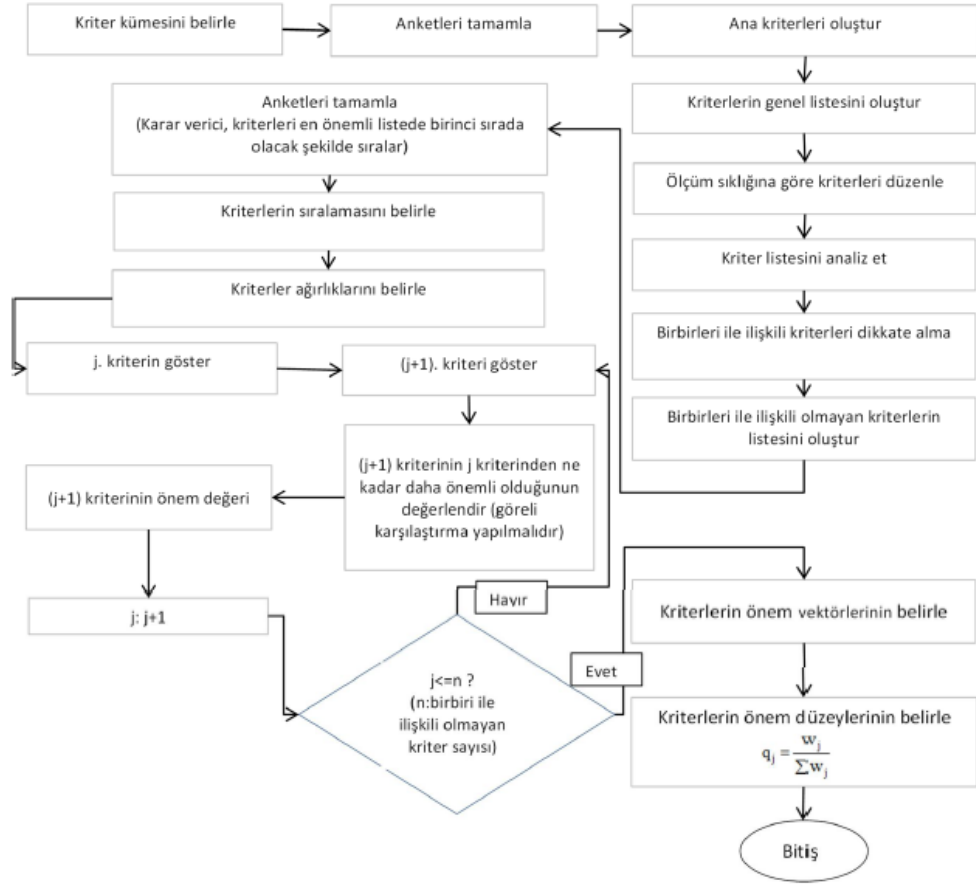
Adım 4. Yeniden hesaplanan q_j ağırlığı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5. Değerlendirme kriterlerinin w_j göreceli ağırlıkları aşağıdaki gibi belirlenir:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3)$$

Şekil 3.7’de SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi gösterilmiştir (Keršulienė ve Turskis, 2011).



Şekil 3.7. SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi (Keršulienė ve Turskis, 2011)

4. BULGULAR

Bu çalışmada, dünya üzerinde her gün kilometrelerce uçuş yapan uçakların performansına etki eden bazı faktörler ele alınmış ve bu faktörler araştırılarak çalışmanın asıl amacını yansıtabilecek en önemlileri belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenmiş olan uçak performansına etki eden faktörlerin önem düzeylerinin belirlenmesi amacıyla, havacılık alanında bir çok çalışmaları olan çok yetenekli ve alanında bilgili 5 uzmandan alınan bilgiler ışığında SWARA metoduyla ağırlıklandırma analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan faktörler birçok kaynaktan alınarak ve araştırılarak belirlenmiştir. Yapılan kapsamlı literatür taraması sonucunda belirlenen 14 kriterin isimleri ve kriter kodları Tablo 4.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.1. *Kriterlerin kodları ve isimleri*

Kriter kodu	Kriterler
C_1	Sıcaklık
C_2	Buzlanma
C_3	Mikro patlamalar
C_4	Yakıtlar
C_5	Lastikler
C_6	Kanatçığin etkisi
C_7	Yağmur
C_8	Yapım malzemesi
C_9	Ağırlık
C_{10}	Basınç
C_{11}	Pist yapısı
C_{12}	Rüzgâr
C_{13}	Yer etkisi
C_{14}	Pervane veriminin etkisi

4.1. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Tablo 4.1’de gösterilen kriterlerin önem düzeylerinin belirlenebilmesi için kendi alanında uzman olan 5 karar verici belirlenmiş ve karar vericilerden önem algısına göre

14 kriteri sıralamaları istenmiştir. Kriterlerin karar vericilere göre önem derecelerine göre sıralamaları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. *Kriterlerin karar vericilere (KV) göre önceliklendirilmesi*

No	Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
C_1	Sıcaklık	7	3	1	2	4
C_2	Buzlanma	12	14	11	5	5
C_3	Mikro patlamalar	2	8	12	11	14
C_4	Yakıt	5	7	10	6	2
C_5	Lastikler	9	12	3	12	10
C_6	Kanatçığin etkisi	6	4	14	10	11
C_7	Yağmur	10	10	2	7	8
C_8	Yapım malzemesi	1	6	4	8	6
C_9	Ağırlık	3	1	5	1	1
C_{10}	Basınç	11	2	6	3	3
C_{11}	Pist yapısı	13	13	13	13	9
C_{12}	Rüzgar	8	9	7	4	7
C_{13}	Yer etkisi	14	11	8	14	12
C_{14}	Pervane veriminin etkisi	4	5	9	9	13

Yukarıda gösterilen Tablo 4.2, SWARA yönteminin ilk adımı olan karar vericilerin kriterleri önem sırasına göre ağırlıklandırmasıyla oluşturulmuştur. Her karar vericinin kendi uzmanlık alanına göre sıraladığı kriterlerin bazıları sıralamada diğerlerinden çok önde, bazılarıysa çok geridedir. Tabloya göre; 9. kriter olan “ağırlık” kriteri karar vericilere göre daha çok tercih edilmiştir. C_1 ve C_8 kriterleri de kararvericiler tarafından önem sıralamasında üst sıralarda değerlendirilmiştir. Diğer kriterlere bakıldığında, çoğunun üst sıralarda bulunmadığı görülmektedir.

4.2. Kriterlerin Karşılaştırılması Yoluyla Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önem Değerinin Belirlenmesi

Kriterler 5 karar verici tarafından önem sırasına göre ağırlıklandırılıp sıralandıktan sonra bir sonraki adım olarak kriterlerin S_j değerleri Tablo 4.3’deki gibi oluşturulmuştur. Karar vericiler kendi uzmanlık alanlarını göz önüne alarak her bir kriteri ondan önceki

kriterle karşılaştırmış ve bir önceki kriterin ondan alttaki kriterden ne kadar önemli olduğunu değerlendirerek o değeri alttaki kriterin karşısına S_j değeri olarak yazmışlardır. Her karar verici için hangi kriter önem derecesine göre ilk sıradaysa onun S_j değerinin karşısı boş bırakılmıştır. S_j değerleri 0-1 aralığında puanlandırılmıştır.

4.3. k_j Değerinin Belirlenmesi

k_j değeri Eşitlik (1)'deki gibi her kriterin s_j değerinin üstüne 1 eklenerek hesaplanmıştır. İlk kriterin karşısı boş olduğu için onun k_j değeri 1.00 olarak gösterilmiştir. Her 5 karar verici için k_j değerleri Tablo 4.3'teki gibidir.

Tablo 4.3. s_j ve k_j değerleri

Kriterler	s_j^1	s_j^2	s_j^3	s_j^4	s_j^5	k_j^1	k_j^2	k_j^3	k_j^4	k_j^5
C_1	0.05	0.01		0.05	0.01	1.05	1.01	1.00	1.05	1.01
C_2	0.3	0.05	0.3	0.05	0.05	1.30	1.05	1.30	1.05	1.05
C_3	0.2	0.01	0.1	0.2	0.05	1.20	1.01	1.10	1.20	1.05
C_4	0.5	0.1	0.2	0.05	0.25	1.50	1.10	1.20	1.05	1.25
C_5	0.01	0.005	0.05	0.2	0.05	1.01	1.005	1.05	1.20	1.05
C_6	0.15	0.01	0.15	0.1	0.1	1.15	1.01	1.15	1.10	1.10
C_7	0.01	0.01	0.1	0.2	0	1.01	1.01	1.10	1.20	1.00
C_8		0.05	0.1	0.25	0.05	1.00	1.05	1.10	1.25	1.05
C_9	0.25		0.05			1.25	1.00	1.05	1.00	1.00
C_{10}	0.01	0.3	0.2	0.15	0.01	1.01	1.30	1.20	1.15	1.01
C_{11}	0.05	0.005	0.05	0.2	0.01	1.05	1.005	1.05	1.20	1.01
C_{12}	0.15	0.05	0.15	0.3	0.25	1.15	1.05	1.15	1.30	1.25
C_{13}	0.2	0.005	0.1	0.4	0.2	1.20	1.005	1.10	1.40	1.20
C_{14}	0.5	0.01	0.15	0.05	0.25	1.50	1.01	1.15	1.05	1.25

4.4. Yeniden Hesaplanan Ağırlık Değerinin Belirlenmesi

Yeniden hesaplanan q_j ağırlığı Eşitlik (2)'deki gibi belirlenmiştir. Bu kısımda ilk kriterin karşısındaki k_j değeri 1'e eşit olduğundan onun q_j değeri de 1 olarak gösterilmiştir. İkinci kriter için q_j değeri ise kendisinden bir önceki q_j değerinin kendi k_j

değerine bölünmesiyle belirlenmiştir. Her kararverici için bu yolla q_j değerleri bulunmuş ve Tablo 4.4'teki gibi gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Yeniden hesaplanan ağırlık değerleri

Kriterler	q_j^1	q_j^2	q_j^3	q_j^4	q_j^5
C_1	0.24538	0.76161	1	0.95238	0.78424
C_2	0.15931	0.56623	0.27526	0.60671	0.74689
C_3	0.83333	0.64001	0.25024	0.27793	0.30972
C_4	0.2963	0.64641	0.35784	0.57782	0.8
C_5	0.21126	0.59751	0.8658	0.23161	0.5366
C_6	0.25765	0.75407	0.20723	0.33352	0.48782
C_7	0.20917	0.6035	0.90909	0.48151	0.56906
C_8	1	0.71106	0.78709	0.38521	0.71133
C_9	0.66667	1	0.74961	1	1
C_{10}	0.2071	0.76923	0.62468	0.82816	0.79208
C_{11}	0.15172	0.59454	0.23832	0.19301	0.56343
C_{12}	0.21337	0.60954	0.5432	0.63704	0.56906
C_{13}	0.12643	0.6005	0.49381	0.13786	0.40651
C_{14}	0.44444	0.74661	0.4294	0.36687	0.32521
Toplam q_j değerleri	5.02213	9.60083	7.73157	7.00963	8.60194

4.5. Göreceli Ağırlık Değerinin Belirlenmesi

Son adım olarak değerlendirme kriterlerinin göreceli son ağırlıkları bulunmuştur. Bunun için Eşitlik (3) kullanılarak 14 kriterin her biri için ayrı ayrı w_j değeri hesaplanmıştır. 5 kararvericinin göreceli w_j ağırlığı her kriter için onun kendi q_j değerinin, tüm q_j değerlerinin toplamına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Hesaplanmış q_j ve w_j değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Göreli ağırlık değerleri

Kriterler	w_j^1	w_j^2	w_j^3	w_j^4	w_j^5
C_1	0.04886	0.07933	0.12934	0.13587	0.09117
C_2	0.03172	0.05898	0.0356	0.08655	0.08683
C_3	0.16593	0.06666	0.03237	0.03965	0.03601
C_4	0.059	0.06733	0.04628	0.08243	0.093
C_5	0.04207	0.06224	0.11198	0.03304	0.06238
C_6	0.0513	0.07854	0.0268	0.04758	0.05671
C_7	0.04165	0.06286	0.11758	0.06869	0.06615
C_8	0.19912	0.07406	0.1018	0.05495	0.08269
C_9	0.13275	0.10416	0.09695	0.14266	0.11625
C_{10}	0.04124	0.08012	0.0808	0.11815	0.09208
C_{11}	0.03021	0.06193	0.03082	0.02753	0.0655
C_{12}	0.04249	0.06349	0.07026	0.09088	0.06615
C_{13}	0.02518	0.06255	0.06387	0.01967	0.04726
C_{14}	0.0885	0.07776	0.05554	0.05234	0.03781

4.6. Geometrik Ortalama ve Son Ağırlıklar

Son olarak, tüm kararvericilere ait w_j değerleri bulunduğundan sonra final sıralamasını belirlemek için geometrik ortalama alınmıştır. Tablo 4.6’da gösterildiği gibi son kriter ağırlıklarına ulaşılmış ve SWARA yönteminin son adımı da uygulanarak sıralama yapılmıştır.

Tablo 4.6. *Final sıralama*

Kriterler	w_j	Sıralama
C_1	0.097	3
C_2	0.060	11
C_3	0.068	7
C_4	0.070	6
C_5	0.062	10
C_6	0.052	12
C_7	0.071	5
C_8	0.103	2
C_9	0.119	1
C_{10}	0.082	4
C_{11}	0.043	14
C_{12}	0.067	8
C_{13}	0.044	13
C_{14}	0.062	9

Yapılan çalışma sonucunda, seçilmiş kriterler arasından uçak performansına etki eden en önemli faktörün karar vericiler tarafından “Ağırlık - C_9 ” kriteri olduğu belirlenmiştir. Metodoloji kısmında da bahsedildiği üzere ağırlık faktörü havacılık sektöründe her zaman göz önünde bulundurulması gereken konudur. Ağırlık faktörü uçuş performansını önemli ölçüde etkilemekle birlikte, daha yüksek kalkış hızına, daha yüksek koşu mesafesine, daha düşük seyir hızına, daha düşük tırmanma oranı vd. neden olabilir.

Tablo 4.6’da gösterilen kriterlerin final sıralamasından da görüldüğü gibi geometrik ortalama en yüksek olan ilk üç kriterler sırasıyla Ağırlık - 0.119, Yapım malzemesi - 0.103 ve Sıcaklık - 0.097 kriterleri olmuştur. Geometrik ortalaması en az olan kriterse Pist yapısı - 0.043 olarak belirlenmiştir.

Kriterlerin final sıralaması ise SWARA yönteminin de yardımıyla en önemli görülden en önemsiz görülene doğru şu şekilde belirlenmiştir:

Kriter numaralarına göre sıralama; $C_9 > C_8 > C_1 > C_{10} > C_7 > C_4 > C_3 > C_{12} > C_{14} > C_5 > C_2 > C_6 > C_{13} > C_{11}$.

Belirlenen kriterlere göre sıralama; Ağırlık, Yapım Malzemesi, Sıcaklık, Basınç, Yağmur, Yakıt, Mikro patlamalar, Rüzgar, Pervane veriminin etkisi, Lastikler, Buzlanma, Kanatçıgının etkisi, Yer etkisi, Pist yapısı.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Havacılık sektöründe uçak performansı konusu çok geniş ve kapsamlı çalışma gerektiren bir konudur. Gelişen teknolojiler, yeni uçak modelleri gibi etkenlerle birlikte, uçakların uçuş performansının her zaman en üst düzeyde tutulması gerekmektedir. Özellikle sivil alanda yolculara emniyetli uçuş sağlanması açısından bu konu, üzerinde çalışılması gereken çok önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, uçak performansı hakkında araştırmalar yapılmış, performansa etki edebilecek bazı faktörler kapsamlı literatür taraması sonucunda belirlenmiş ve bu faktörlerin uçak performansına ne kadar etki edebileceğini göstermek için bir ÇKKV yöntemi olan SWARA metodunun yardımıyla önem düzeylerine göre kriter ağırlıklandırmaları yapılmıştır.

Literatür taraması kapsamında uçak performansına etki edebilecek 14 kriter belirlenmiş ve her biri hakkında geniş bilgilere yer verilmiştir. Bu kriterler sıcaklık, buzlanma, mikro patlamalar, yakıt, lastikler, kanatçık, yağmur, yapım malzemesi, ağırlık, basınç, pist yapısı, rüzgâr, yer etkisi, pervane verimi gibi önemli ve uçak performansı için hafife alınmayacak faktörlerdir. Kendi alanında uzman olan 5 karar vericinin yardımıyla ÇKKV yöntemi SWARA ile 14 kriterin analizi yapılmış ve sonuçlar belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda “ağırlık” kriterinin seçilen kriterler içerisinde uçak performansına en çok etki edebilecek kriter olduğu belirlenmiştir.

Uçak ağırlığı, uçuşların emniyetli ve verimli bir şekilde yürütülmesinden bahsederken önemli bir parametre olmaya devam etmektedir. Herhangi bir uçağın ağırlık ve denge limitlerine uyum, uçuş emniyeti için kritik öneme sahiptir. Maksimum ağırlık sınırlamasının üzerinde çalışmak, uçağın yapısal bütünlüğünü tehlikeye atar ve performansını olumsuz etkileyebilir. Ağırlık merkezi ile onaylanan limitlerin dışında çalıştırma, uçağın kontrolünün zorlaşmasına neden olur. Fazla ağırlık uçuş performansını hemen her açıdan düşürür. Örneğin, aşırı yüklü bir uçağın en önemli performans eksiklikleri daha yüksek kalkış hızı, daha uzun kalkış koşusu, daha kısa menzil, azaltılmış seyir hızı, daha yüksek iniş hızı, daha uzun iniş rulosu vd. olabilir. Sabit ekipman değişiklikleri, uçağın ağırlığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Fazladan radyo veya enstrümanların takılması, onarımlar veya modifikasyonlar da uçağın ağırlığını ve dolayısıyla onun uçuş performansını etkileyebilir.

Uçak ağırlığının azaltılması ve ağırlık öğelerinin daha kesin tahminleri, yakıt tüketiminin azalmasına ve daha doğru yakıt tüketimine yardımcı olacaktır. Bu, uçak

ağırlığındaki azalmanın doğrudan faydalı yük açısından iyileşmeye dönüştürülebileceği en zorlu rotalarda operasyonel limitlerinde çalışan uçaklar için giderek daha önemli hale gelmektedir. Uçağın kaldırma-sürüklenme oranını azaltmak, onu aerodinamik açıdan daha verimli hale getirebilir ve uçağın ağırlığını ve yakıt kullanımını azaltmaya yardımcı olabilir.

Analiz sonucu ağırlık dışındaki diğer 13 kriter içerisinde yapım malzemesi, sıcaklık, basınç gibi kriterler uçak performansına önemli ölçüde etki edebilecek diğer faktörler olarak belirlenmiştir.

ÇKKV yöntemlerinin günümüz bilimsel çalışmalarında, karar verme süreçlerinde ne kadar önemli olduğu bilinmektedir. Bu yöntemlerin yardımıyla karar verme süreci daha çabuk gerçekleşmektedir. Ayrıca çeşitli alanlarda oldukça kullanışlı olması, onları daha da popüler hale getirmiştir. ÇKKV yöntemleri, özellikle çoklu ve çelişen amaç ve kriterleri içeren karmaşık karar problemleri için uygun yöntemlerdir. Tercih edilen tek bir alternatifin belirlenmesine veya olası alternatiflerin sıralanmasına ya da kısa listeye alınmasına olanak tanır. ÇKKV, farklı seçenekler arasındaki değiş tokuşları keşfetmek için bir çerçeve sağlar.

Emniyet, havacılıkta yer alan herkesin en yüksek önceliğidir. Her gün yapılan yüzlerce uçuşun her birinin emniyetli bir şekilde hem kalkış, hem de iniş yapması herkesin temennisidir. Uçuş emniyetinin olması için uçak performansının maksimum düzeyde verimli olması gerekmektedir. Uçak performansına etki edebilecek faktörlerin uçuştan önce analizinin yapılması, performansın artırılması için çok önemlidir. Bu faktörlerin analizinin önceden yapılması durumunda her birine önlemler alınarak uçak performansının artırılabilmesi ve daha emniyetli uçuşlar yapılabilmesi öngörülmektedir.

ÇKKV yöntemlerinin havacılık alanında kullanımı ile ilgili çalışmaların literatürde çok fazla yer almadığı görülmektedir. İlerleyen çalışmalarla birlikte havacılık sektörü için önemli olan bir çok konularda farklı ÇKKV yöntemlerinin yardımıyla çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmaların yardımıyla uçuş emniyetinin ve performansının artırılması yönünde yeni teknikler bulunabilir.

KAYNAKÇA

- Abbas, A., de Vicente, J., & Valero, E. (2013). Aerodynamic technologies to improve aircraft performance. *Aerospace Science and Technology*, 28(1), 100-132. doi:10.1016/j.ast.2012.10.008
- Adalı, E. A., & Işık, A. T. (2017). Bir Tedarikçi Seçim Problemi için SWARA ve WASPAS Yöntemlerine Dayanan Karar Verme Yaklaşımı. *International Review of Economics And Management*, 5(4), 56-77. doi:10.18825/iremjournal.335408
- Agrawal, S. K. (1986). Braking performance of aircraft tires. *Progress in Aerospace Sciences*, 23(2), 105-150. doi:10.1016/0376-0421(86)90002-3
- Allison, D. L., & Alyanak, E. (2014). Development of Installed Propulsion Performance Model for High-Performance Aircraft Conceptual Design. *15th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference*. Atlanta. doi:10.2514/6.2014-2725
- Anderson, J. D. (1999). *Aircraft performance and design*. Boston: WCB/McGraw-Hill.
- Ang, A. X., Rao, A. G., Kanakis, T., & Lammen, W. (2018). Performance analysis of an electrically assisted propulsion system for a short-range civil aircraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 233(4), s. 1490-1502. doi:10.1177/0954410017754146
- Antoine, N. E., & Kroo, I. E. (2005). Framework for Aircraft Conceptual Design and Environmental Performance Studies. *AIAA Journal*, 43(10), 2100-2109. doi:10.2514/1.13017
- Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and its Applications. *American Journal of Information Systems*, Vol. 1, 31-43. doi:10.12691/ajis-1-1-5
- Baran-Kooiker, A., Czech, M., & Kooiker, C. (2018). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Models in Health Technology Assessment of Orphan Drugs—a Systematic Literature Review. Next Steps in Methodology Development? *Frontiers in Public Health*, 6. doi:10.3389/fpubh.2018.00287

- Baroud, S. (2018). *Design of a user-friendly software for aircraft performance estimation*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bradley, T. H., Moffitt, B. A., Thomas, R. W., Mavris, D., & Parekh, D. E. (2006). Test Results for a Fuel Cell-Powered Demonstration Aircraft. *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2006-01-3092
- Bragg, M. B., Hutchison, T., Merret, J., Oltman, R., & Pokhariyal, D. (2000). Effect of Ice Accretion on Aircraft Flight Dynamics. *38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit*. doi:10.2514/6.2000-360
- Brandt, J. B., & Selig, M. S. (2011). Propeller Performance Data at Low Reynolds Numbers. *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. Orlando, Florida: American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi:10.2514/6.2011-1255
- Bridges, D. H. (2008). Thrust and Drag Models for Performance Calculations for High-Speed Aircraft. *Journal of Aircraft*, 45(4), 1358-1366. doi:10.2514/1.34919
- Bryson JR., A. E., Desai, M. N., & Hoffman, W. C. (1969). Energy-state approximation in performance optimization of supersonic aircraft. *Journal of Aircraft*, 6(6), 481-488. doi:10.2514/3.44093
- Burton, A. (2016, October 22). *The effect of weight on aircraft performance*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/effect-weight-aircraft-performance-alex-burton-ba-msc-atpl/> adresinden alındı
- Caliskan, F., & Hajiyeve, C. (2013). A review of in-flight detection and identification of aircraft icing and reconfigurable control. *Progress in Aerospace Sciences*, 60, 12-34. doi:10.1016/j.paerosci.2012.11.001
- Camilleri, W., Chircop, K., Zammit-Mangion, D., Sabatini, R., & Sethi, V. (2012). Design and Validation of a Detailed Aircraft Performance Model for Trajectory Optimisation. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*. Minneapolis, Minnesota. doi:10.2514/6.2012-4566

- Campbell, S. E., Broeren, A. P., & Bragg, M. B. (2007). Sensitivity of Aircraft Performance to Icing Parameter Variations. *Journal of Aircraft*, 44(5), 1758-1760. doi:10.2514/1.32355
- Cao, Y., Wu, Z., & Xu, Z. (2014). Effects of rainfall on aircraft aerodynamics. *Progress in Aerospace Sciences*, 71, 85-127. doi:10.1016/j.paerosci.2014.07.003
- Cao, Y., Wu, Z., Su, Y., & Xu, Z. (2015). Aircraft flight characteristics in icing conditions. *Progress in Aerospace Sciences*, 74, 62-80. doi:10.1016/j.paerosci.2014.12.001
- Casado, E., Vilaplana, M., & Goodchild, C. (2013). Sensitivity of Trajectory Prediction Accuracy to Aircraft Performance Uncertainty. *AIAA Infotech@Aerospace (I@A) Conference*. Boston: American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi:10.2514/6.2013-5045
- Cavcar, A., & Cavcar, M. (2004). Impact of Aircraft Performance Characteristics on Air Traffic Delays. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 28, 13-23. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbtkengineering/issue/12165/145187> adresinden alındı
- Coffel, E. D., Thompson, T. R., & Horton, R. M. (2017). The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. *Climatic Change*, 144(2), 381-388. doi:10.1007/s10584-017-2018-9
- Čokorilo, O. (2011). Aircraft Performance: The Effects of the Multi Attribute Decision Making of Non Time Dependant Maintainability Parameters. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 1(1), 41-47. <http://worldcat.org/issn/2217544X> adresinden alındı
- Comer, A. M., Chakraborty, I., & Swartz, S. (2020). Data-Driven General Aviation Aircraft Performance Modeling and Safety Research. *AIAA AVIATION 2020 FORUM*. doi:10.2514/6.2020-3097
- Deiler, C. (2018). Evaluation of Aircraft Performance Variation during Daily Flight Operations. *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2018*. Friedrichshafen: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V., Bonn. doi:10.25967/480025

- Diedrich, A., Hileman, J., Tan, D., Willcox, K., & Spakovszky, Z. (2006). Multidisciplinary Design and Optimization of the Silent Aircraft. *44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. doi:10.2514/6.2006-1323
- Dinesh, M., V., K. M., Venkatesan, D. V., Kumar, S. B., R., S. R., & Sanal Kumar, V. R. (2014). Diagnostic Investigation of Aircraft Performance at Different Winglet Cant Angles. *International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Sciences*, 8(12). doi:10.5281/zenodo.1337611
- Doman, D. B. (2015). Optimal Cruise Altitude for Aircraft Thermal Management. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 38(11), 2084-2095. doi:10.2514/1.G000845
- Dubois, W. E. (2020, July 13). *Questions from the cockpit: A good grounding*. General Aviation News. <https://generalaviationnews.com/2020/07/13/questions-from-the-cockpit-a-good-grounding/> adresinden alındı
- Emadi, A., & Ehsani, M. (2000). Aircraft power systems: technology, state of the art, and future trends. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 15(1), 28-32. doi:10.1109/62.821660
- Erturk, S. A., & Gomec, F. S. (2020). The Analyses of Aircraft Performance during Takeoff and Landing with Aerodynamic Interference Effects and the 6-DOF Model. *AIAA AVIATION 2020 FORUM*. doi:10.2514/6.2020-2640
- Filippone, A. (2008). Comprehensive analysis of transport aircraft flight performance. *Progress in Aerospace Sciences*, 44(3), 192-236. doi:10.1016/j.paerosci.2007.10.005
- Gallard, F., Meaux, M., Montagnac, M., & Mohammadi, B. (2013). Aerodynamic aircraft design for mission performance by multipoint optimization. *21st AIAA Computational Fluid Dynamics Conference*. doi:10.2514/6.2013-2582
- Gesell, H., Wolters, F., & Plohr, M. (2019). System analysis of turbo-electric and hybrid-electric propulsion systems on a regional aircraft. *The Aeronautical Journal*, 123(1268), 1602-1617. doi:10.1017/aer.2019.61

- Ghenai, C., Albawab, M., & Bettayeb, M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146, 580-597. doi:10.1016/j.renene.2019.06.157
- Ghorshi Nezhad, M. R., Zolfani, S. H., Moztarzadeh, F., Zavadskas, E. K., & Bahrami, M. (2015). Planning the priority of high tech industries based on SWARA-WASPAS methodology: The case of the nanotechnology industry in Iran. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 1111-1137. doi:10.1080/1331677X.2015.1102404
- Ghouschi, S. J., Ab Rahman, M. N., Raeisi, D., Osgooei, E., & Ghoushji, M. J. (2020). Integrated Decision-Making Approach Based on SWARA and GRA Methods for the Prioritization of Failures in Solar Panel Systems under Z-Information. *Symmetry*, 12(2):310. doi:10.3390/sym12020310
- He, J., Huang, Z., Mishra, A. R., & Alrasheedi, M. (2021). Developing a new framework for conceptualizing the emerging sustainable community-based tourism using an extended interval-valued Pythagorean fuzzy SWARA-MULTIMOORA. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120955. doi:10.1016/j.techfore.2021.120955
- Henderson, R. P., Martins, J., & Perez, R. E. (2012). Aircraft Conceptual Design for Optimal Environmental Performance. *The Aeronautical Journal*, 116, 1-22. doi:10.1017/S000192400000659X
- Heron, S. D., & Beatty, H. A. (1938). Aircraft Fuels. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 5(12), 463-479. doi:10.2514/8.720
- Holloway, R. B., & Burris, P. M. (1970). Aircraft Performance Benefits from Modern Control Systems Technology. *Journal of Aircraft*, 7(6), 550-553. doi:10.2514/3.44211
- Hrastovec, M., & Solina, F. (2016). Prediction of aircraft performances based on data collected by air traffic control centers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 73, 167-182. doi:10.1016/j.trc.2016.10.018

- http-1. (Eriřim tarihi: 20.12.2021). <http://avstop.com/ac/flighttraininghandbook/takeoffperformance.html> adresinden alındı
- http-2. (Eriřim tarihi: 12.12.2021). http://www.epi-eng.com/propeller_technology/selecting_a_propeller.htm adresinden alındı
- http-3. (Eriřim tarihi: 22.12.2021). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hot_and_high_takeoff.png adresinden alındı
- http-4. (Eriřim tarihi: 29.12.2021). http://flyonline.weebly.com/uploads/3/5/3/0/3530216/g_s_-_instruments.pdf adresinden alındı
- http-5. (Eriřim tarihi: 05.01.2022). <https://thepointsguy.com/guide/flight-deck-rejected-takeoff/> adresinden alındı
- http-6. (Eriřim tarihi: 07.01.2022). <https://community.wmo.int/activity-areas/aviation/hazards/turbulence> adresinden alındı
- Ighravwe, D. E., & Oke, S. A. (2019). A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance. *Journal of Building Engineering*, 24, 100753. doi:10.1016/j.job.2019.100753
- Immarigeon, J.-P., Holt, R. T., Koul, A. K., Zhao, L., Wallace, W., & Beddoes, J. C. (1995). Lightweight materials for aircraft applications. *Materials Characterization*, 35(1), 41-67. doi:10.1016/1044-5803(95)00066-6
- Immer, M., & Juretzko, P. G. (2018). Advanced aircraft performance analysis. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. doi:10.1108/AEAT-11-2016-0205
- Jansen, R. H., Brown, G. V., & Felder, J. L. (2015). Turboelectric Aircraft Drive Key Performance Parameters and Functional Requirements. *51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*. doi:10.2514/6.2015-3890
- Jepson, J. K., & Gopalarathnam, A. (2005). Incorporation of Aircraft Performance Considerations in Inverse Airfoil Design. *Journal of Aircraft*, 42(1), 199-207. doi:10.2514/1.5373

- Karabašević, D., Stanujkić, D., Urošević, S., & Maksimović, M. (2016). An approach to personnel selection based on Swara and Waspas methods. *Journal of Economics, Management and Informatics*, 7(1), 1-11. doi:10.5937/bizinfo1601001K
- Kaya, S. K., & Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123880
- Keršulienė, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645-666. doi:10.3846/20294913.2011.635718
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (Swara). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258. doi:10.3846/jbem.2010.12
- Krajčec, K., Nikolić, D., & Domitrović, A. (2015). Aircraft performance monitoring from flight data. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 22(5). doi:10.17559/TV-20131220145918
- Learn to Fly. (2014, December 8). *Aircraft Performance: Introduction to Performance Factors*. <http://learntoflyblog.com/2014/12/08/aircraft-performance-introduction-to-performance-factors/> adresinden alındı
- Lee, J. J., Lukachko, S. P., Waitz, I. A., & Schafer, A. (2001). Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost and Emissions. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26(1), 167-200. doi:10.1146/annurev.energy.26.1.167
- Luers, J. (1983). Heavy rain effects on aircraft. *21st Aerospace Sciences Meeting*. doi:10.2514/6.1983-206
- Maghsoodi, A. I., Maghsoodi, A. I., Poursoltan, P., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2019). Dam construction material selection by implementing the integrated SWARA–CODAS approach with target-based attributes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1194-1210. doi:10.1016/j.acme.2019.06.010

- McDonald, R. A. (2014). Electric Propulsion Modeling for Conceptual Aircraft Design. *52nd Aerospace Sciences Meeting*. doi:10.2514/6.2014-0536
- Melis, D. J., Silva, J. M., Silvestre, M. A., & Yeun, R. (2019). The effects of changing passenger weight on aircraft flight performance. *Journal of Transport & Health*, 13, 41-62. doi:10.1016/j.jth.2019.03.003
- Menon, P. K., Sengupta, P., Vaddi, S., Yang, B.-J., & Kwan, J. (2013). Impaired Aircraft Performance Envelope Estimation. *Journal of Aircraft*, 50(2), 410-424. doi:10.2514/1.C031847
- Norheim, A., Sinha, N. K., & Yager, T. J. (2001). Effects of the structure and properties of ice and snow on the friction of aircraft tyres on movement area surfaces. *Tribology International*, 34(9), 617-623. doi:10.1016/S0301-679X(01)00054-8
- Ntantis, E. L., & Botsaris, P. N. (2015). Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(4), 64-72. doi:10.25103/jestr.084.10
- Ozsahin, D. U., Denker, A., Kibarar, A. G., & Kaba, S. (2021). Evaluation of stage IV brain cancer treatment techniques. I. Ozsahin, D. Ozsahin, & B. Uzun içinde, *Applications of Multi-Criteria Decision-Making Theories in Healthcare and Biomedical Engineering* (s. 59-69). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-824086-1.00004-9
- Pilot Institute. (2021, August 27). *The Effect of Wind Speed on an Airplane*. <https://pilotinstitute.com/wind-speed-airplane/#:~:text=Passengers%20tend%20to%20worry%20about,can%20slow%20down%20a%20flight> adresinden alındı
- Pokhariyal, D., Bragg, M. B., Hutchison, T., & Merret, J. (2001). Aircraft Flight Dynamics with Simulated Ice Accretion. *39th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit*. doi:10.2514/6.2001-541
- Politovich, M. K. (1989). Aircraft Icing Caused by Large Supercooled Droplets. *Journal of Applied Meteorology*, 856-868. doi:10.1175/1520-0450(1989)028<0856:AICBLS>2.0.CO;2

- Prajapati, H., Kant, R., & Shankar, R. (2019). Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: A hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production*, 240. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118219
- Puranik, T. G., Harrison, E. D., Min, S., Chakraborty, I., & Mavris, D. N. (2018). A Framework for General Aviation Aircraft Performance Model Calibration and Validation. *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. doi:10.2514/6.2018-3191
- Radović, D., & Stević, Ž. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. *Transport & Logistics: the International Journal*, 18(44), 60-68. <https://www.researchgate.net/publication/325681450> adresinden alındı
- Randle, W. E., Hall, C. A., & Vera-Morales, M. (2011). Improved Range Equation Based on Aircraft Flight Data. *Journal of Aircraft*, 48(4), 1291-1298. doi:10.2514/1.C031262
- Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Mardani, A., Cavallaro, F., Ravichandran, K. S., & Balasubramanian, K. (2020). Hesitant Fuzzy SWARA-Complex Proportional Assessment Approach for Sustainable Supplier Selection (HF-SWARA-COPRAS). *Symmetry*, 12(7), 1152. doi:10.3390/sym12071152
- Schuster, W., Ochieng, W., & Porretta, M. (2010). High-performance trajectory prediction for civil aircraft. *29th Digital Avionics Systems Conference*. doi:10.1109/DASC.2010.5655515
- Simon, D. L., & Armstrong, J. B. (2013). An Integrated Approach for Aircraft Engine Performance Estimation and Fault Diagnostics. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 135(7), 935-946. doi:10.1115/GT2012-69905
- Siouris, S., & Qin, N. (2007). Study of the effects of wing sweep on the aerodynamic performance of a blended wing body aircraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 221(1), 47-55. doi:10.1243/09544100JAERO93

- Smith, R. H., Chisholm, J. D., & Stewart, J. F. (1991). Optimizing Aircraft Performance With Adaptive, Integrated Flight/Propulsion Control. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 113(1), 87-94. doi:10.1115/1.2906535
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(2), 181-187. doi:10.5755/j01.ee.26.2.8820
- Sun, J., Ellerbroek, J., & Hoekstra, J. M. (2018). Aircraft initial mass estimation using Bayesian inference method. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 59-73. doi:10.1016/j.trc.2018.02.022
- Szodruch, J., & Hilbig, R. (1988). Variable wing camber for transport aircraft. *Progress in Aerospace Sciences*, 25(3), 297-328. doi:10.1016/0376-0421(88)90003-6
- Şöhret, Y., Ekici, S., Altuntaş, Ö., Hepbasli, A., & Karakoç, T. H. (2016). Exergy as a Useful Tool for the Performance Assessment of Aircraft Gas Turbine Engines: A Key Review. *Progress in Aerospace Sciences*, 83, 57-69. doi:10.1016/j.paerosci.2016.03.001
- Tay, G., Keller, P., & Hornung, M. (2018). Development of a software tool for comprehensive flight performance and mission analysis of hybrid-electric aircraft. *Transportation Research Procedia*, 29, 401-409. doi:10.1016/j.trpro.2018.02.036
- U.S. Dept. of Transportation, F. A. (2008). *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. Oklahoma: Airman Testing Standards Branch.
- Ulutaş, A., Meidute-Kavaliauskiene, I., Topal, A., & Demir, E. (2021). Assessment of Collaboration-Based and Non-Collaboration-Based Logistics Risks with Plithogenic SWARA Method. *Logistics*, 5(4), 1-14. doi:10.3390/logistics5040082
- Vachon, M. J., Ray, R. J., Walsh, K. R., & Ennix, K. (2002). F/A-18 Performance Benefits Measured During the Autonomous Formation Flight Project. *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit*. doi:10.2514/6.2002-4491

- Wan, J., Zhang, H., Liu, F., Lv, W., & Zhao, Y. (2020). Optimization of Aircraft Climb Trajectory considering Environmental Impact under RTA Constraints. *Journal of Advanced Transportation*, 1-17. doi:10.1155/2020/2738517
- Whalen, E., Melody, J. W., Bragg, M. B., & Başar, T. (2004). Aircraft Characterization in Icing Using Flight Test Data. *42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. doi:10.2514/6.2004-733
- Wickenheiser, A., Garcia, E., & Waszak, M. (2004). Evaluation of Bio-Inspired Morphing Concepts with Regard to Aircraft Dynamics and Performance. *Smart Structures and Materials 2004: Smart Structures and Integrated*. San Diego, CA, United States. doi:10.1117/12.540346
- Yanto, J., & Liem, R. P. (2018). Aircraft fuel burn performance study: A data-enhanced modeling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 574-595. doi:10.1016/j.trd.2018.09.014
- Zagalsky, N. (1973). Aircraft energy management. *11th Aerospace Sciences Meeting*. Washington D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi:10.2514/6.1973-228
- Zammit-Mangion, D., & Eshelby, M. (2008). A Simplified Algorithm to Model Aircraft Acceleration During Take-Off. *Journal of Aircraft*, 45(4), 1090-1097. doi:10.2514/1.22966
- Zolfani, S. H., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22, 7399–7405. doi:10.1007/s00500-018-3092-2
- Zolfani, S. H., & Bahrami, M. (2014). Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(3), 534-553. doi:10.3846/20294913.2014.881435
- Zolfani, S. H., & Saparauskas, J. (2013). New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 24(5), 408-414. doi:10.5755/j01.ee.24.5.4526

- Zolfani, S. H., Salimi, J., Maknoon, R., & Simona, K. (2015). Technology Foresight About R&D Projects Selection; Application of SWARA Method at the Policy Making Level. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(5), 571-580. doi:10.5755/j01.ee.26.5.9571
- Zolfani, S. H., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2013). Design of Products with Both International and Local Perspectives based on Yin-Yang Balance Theory and Swara Method. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 26(2), 153-166. doi:10.1080/1331677X.2013.11517613



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0001-8691-7626

Ad Soyad : Azar GARAYEV

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uçak Gövde Motor Tezli Yüksek Lisans

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

Konferans:

- Garayev Azar, Yazgan Ebru, Koruyucu Elif (2022). Çok Kriterli Karar Verme Metodunun Uçak Performans Parametreleri Değerlendirilmesine Uygulanması, 2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICAENS, syf. 316. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)