



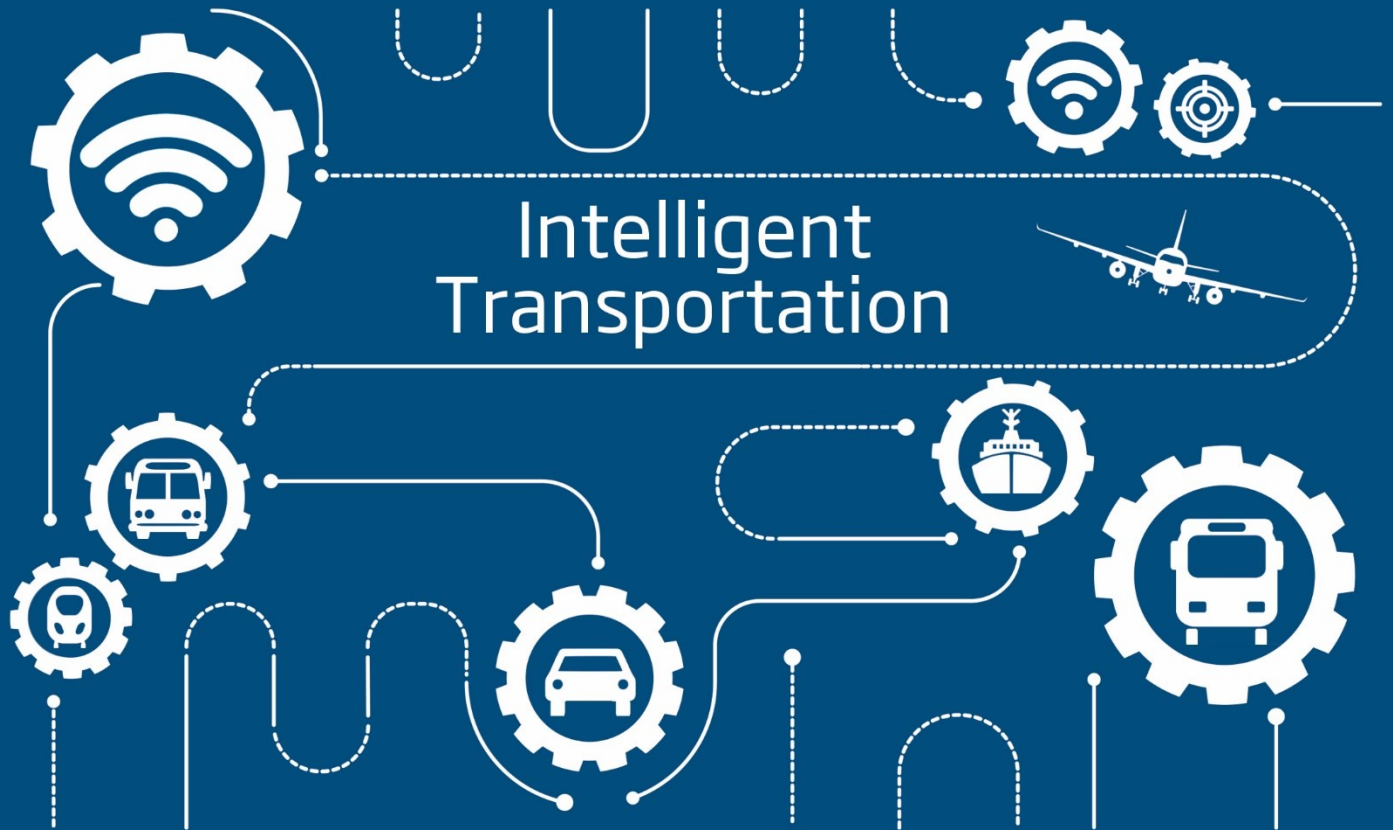
**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**

AUSUD | **Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi**
JITSA | Journal of Intelligent Transportation System and Applications

Cilt / Volume: 4

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2021



e-ISSN 2636-820X

Sahibi
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Dergi Yürütücüsü Editör
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Editörler
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Doç. Dr. Nevzat ONAT
Doç. Dr. Hediye Tülay YAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ARUÇU

Alan Editörleri
Prof. Dr. Serap INCAZ

Prof. Dr. Yasin ARSLANOĞLU
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU

Doç. Dr. Necde TEKTAŞ
Doç. Dr. İlgin GÖKASAR

Doç. Dr. Abdülhalil YEŞİL
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
Dr. Öğr. Üyesi Adem DALÇALI

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖZBAY

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATIK
Dr. Öğr. Üyesi Hasan SABİN

Dr. Öğr. Üyesi Hyas ÖZER
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU

Öğr. Gör. Abdülhalil ELEN

Yayın ve Dağıtım Kurulu
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Prof. Dr. Alpaslan SEREL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Prof. Dr. A. Fevzi BABA (Marmara Üniversitesi)

Prof. Dr. Abdulsamet HAŞILOĞLU (Atatürk Üniversitesi)

Prof. Dr. Erdiğın KÖSE (İstanbul Üniversitesi)

Prof. Dr. Ergin Saat VARGİL (İstanbul Üniversitesi)

Prof. Dr. Ferit KAÇAR (İstanbul Üniversitesi)

Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)

Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)

Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)

Prof. Dr. Othman Behçet ALANKUŞ (Okan Üniversitesi)

Prof. Dr. Rafet BOZDOĞAN (Yakova Üniversitesi)

Prof. Dr. Serap INCAZ (Niğantaş Üniversitesi)

Prof. Dr. Serif KILIÇ (Anadolı Üniversitesi)

Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU (ODTÜ) (Türkiye)

Prof. Dr. Mustafa İLİCALI (İstanbul Ticaret Üniversitesi) (Türkiye)

Prof. Dr. Serdal TERZİ (Süleyman Demirel Üniversitesi) (Türkiye)

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR (Yüzüncü Yıl Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Ersoy ÖZ (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Hediye TÜVDES YAMAN (ODTÜ)

Doç. Dr. Mijdat SOYTÜRK (Marmara Üniversitesi)

Doç. Dr. Nevzat ONAT (Manisa Celal Bayar Üniversitesi)

Doç. Dr. Turan ARSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Abdülhalil YEŞİL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Gülşah BİNASCI (Bardar Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. İlgin GÖKASAR (Boğaziçi Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Mesut NALÇAKAN (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ) (Türkiye)

Doç. Dr. Necde TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Doç. Dr. Ufuk ÇELİK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Assoc. Prof. Dr. Vahit HACKER (Gazi University of Technology) (Avusturya)

Dr. Öğr. Üyesi Adem DALÇALI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Aslan ÇOBAN (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR (Antalya Bilim Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Çankırı İktisadi ve Sosyal Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA (Karadeniz Teknik Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AKDEMİR (İzmir Kalyoncu Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU (İstanbul Medipol Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU (Gümüşhane Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Şimşek (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ARUÇU (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Murat AY (Yüzüncü Yıl Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Murat Ergi KORKMAZ (Samsun Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Mülazım İPEK (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATIK (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOSUNALP (Bayburt Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Şehinç ATİŞ (Marmara Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Sineyya KOÇBİÇ (Sağlık Bilimleri Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Şerif DİLEK (Kırklareli Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Öğr. Üyesi Yasin SARIKAVAK (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Öğr. Gör. Dr. Cemil OCAK (Gazi Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Lee Young Kyun (Director of ITS Korea) (Kore)

Dr. Evangelos Mitsakis (Hellenic Institute of Transport) (Yunanistan)

Dr. Ziya ÇAKICI (Bayburt Üniversitesi) (Türkiye)

Dr. Ahmet BAĞIŞ (İETT)

Dr. A. Oğuz TÜRKÜLÜ (İETT)

Dr. Kadri KORKMAZ (TUBİTAK-BİLGEM)

Uzman Hasan TUFAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)

Ausdr. Bak. Emel YANAR (AUSDR) (Türkiye)

Öğr. Gör. İhsan AKTAŞ (Kırklareli Üniversitesi) (Türkiye)

Öğr. Gör. Tufan Volkan KÜÇÜK (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi) (Türkiye)

Öğr. Gör. Yusuf AVŞAR (Trakya Üniversitesi) (Türkiye)

Teknik Editör
Arş. Gör. Umur AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Arş. Gör. Cemer PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dergi Sekreteryası
Arş. Gör. Umur AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Arş. Gör. Şenel Gülşim TAÇ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Mizanpaj
Arş. Gör. Üstün ATAÇ (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)

Arş. Gör. Fatih ERGEZER (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)

Öz Kontrol
Arş. Gör. Cemer PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi (AUSUD) Editörlüğü, 10200, Bandırma/BALIKESİR

Web: <http://dergipark.gov.tr/jtsa>
Telefon: +90 266 717 01 17
Faks: +90 266 717 00 30
E-posta: jtsa@bandirma.edu.tr

Akıllı Ulaşım Sistemleri disiplinler arası bir konu ve uygulamaları sektörler arası olduğundan derginin ismine “Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları” dergisi olarak karar verilmiştir. Dergimiz Mühendislik, Teknik Bilimler, Temel Bilimler ve Sosyal Bilimlerin lojistik, ulaşım, haberleşme ve bilişim alanlarını ilgilendiren yapısıyla bilim dünyasına önemli katkı sağlayacaktır.

Dergide, Türkçe ve İngilizce dillerinde makaleler yayımlanmaktadır. Derginin içerdiği konular sayfanın sağ tarafında Konu Başlıkları–Journal Topics sekmesinde verilmiştir. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen metinlerin, daha önce yayımlanmamış, yayımlanmak üzere kabul edilmemiş ve yayımlanmak için değerlendirilme sürecinde olmaması gerekir. Değerlendirme sürecinde olan ve yayımlanan eserlerin sorumluluğu tümüyle yazar(lar)a aittir. Sayılarımız elektronik olarak yayımlanır. Yayımlanan eserlerin telif hakları Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi’ne aittir. Yayımlanması istenilen çalışmalar dergi yazım kuralları ve yayın ilkelerinde belirtilen koşullara uygun şekilde hazırlanıp gönderilmelidir. Dergiye sunulan makaleler öncelikle şekil ve içerik yönünden ön incelemeye tabi tutulmaktadır. Şekil ve içerik olarak uygun bulunan makaleler hakem tayin edilmek üzere yayın kuruluna sunulmaktadır.

Değerlendirme sürecine geçildikten sonra hakemlik süreci ortalama 3 ile 5 hafta arası sürmektedir. Yayın Kurulu tarafından incelenen makalelere uygun bulunduğu takdirde en az iki hakem atanmaktadır. Hakemlerden gelen raporlar doğrultusunda, makalenin yayımlanmasına, rapor çerçevesinde yazar(lar)dan düzeltme, ek bilgi ve kısaltma istenmesine veya yayımlanmamasına karar verilmektedir. Hakemlerden bir olumlu ve bir olumsuz rapor verilmesi halinde ilgili çalışma Dergi Editörlüğü tarafından uygun görülmesi halinde üçüncü bir hakeme de gönderilmektedir.

Bu Sayının Hakemleri / Referee Board

Doç. Dr. Halit ÖZTEKİN (Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi)

Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ (Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Ercan YÜKSEKYILDIZ (Samsun Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ATALAN (Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç YILDIZ (Bursa Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Yunus DEMİR (Bursa Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Said Mahmut ÇINAR (Afyon Kocatepe Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Tufan DOĞRUER (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Harun KARAKAVUZ (Selçuk Üniversitesi)

Öğr. Gör. Kazım KUMAŞ (Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi)

Arş. Gör. Mahmut BAKIR (Samsun Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Denizcilik eğitiminde kullanılan simülatorlerin dünya çapında dağılımı** 1-15
Distribution of simulators used in maritime education around the world
Fırat BOLAT
Araştırma makalesi
- Kentiçi otopark analizi: Çanakkale ili örneği** 16-26
Urban Parking Analysis: Case of Canakkale
Yücel KURTULUŞ, Hasan ŞAHİN, Mehmet TEKTAŞ
Derleme makale
- Türkiye’de bölgesel havayolları için uçak tipi seçimi: Küresel bulanık AHP-TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu.** 27-58
Aircraft selection for regional airlines in Turkey: An integration of spherical fuzzy AHP-TOPSIS methods
Kübra KOCAKAYA, Taylan ENGİN, Mehmet TEKTAŞ, Umut AYDIN
Araştırma makalesi
- Elektrikli araç batarya yönetim sistemleri için hücre eşitleme yöntemleri** 59-73
Cell equalization methods for electric vehicle battery management systems
Yusuf HANÇAR, Habib KAYMAZ
Derleme makale
- Covid-19’un havacılık sektörüne çevresel etkisi: Adnan Menderes Havalimanı örneği** 74-86
Environmental impact of Covid-19 on the aviation industry: The case of Adnan Menderes Airport
Büşra Nur KESKİN, Özge Yalçiner ERÇOŞKUN
Araştırma makalesi
- Havacılıkta SWOT analizi: Türkiye için durum değerlendirmesi** 87-98
SWOT Analysis of aviation: Assessment of the situation in Turkey
Büşra ŞAHİN, Necla TEKTAŞ
Derleme makale

Araştırma makalesi

Denizcilik eğitiminde kullanılan simülatörlerin dünya çapında dağılımı

Fırat Bolat^{1*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü,
Tuzla, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: bolatf@itu.edu.tr

DOI:10.51513/jitsa.871903

Özet: Tarih boyunca, denizcilik eğitiminde deniz simülasyonu, dünyanın dört bir yanındaki gemilere nitelikli, iyi eğitilmiş, işinin ve çevresinin sorumluluğunu taşıyabilen kaptanlar ve mühendisler yetiştirmek için kullanılmıştır. Simülasyonlar gerçek ortamları sanal gerçeklikle ve minimum risk oluşturarak kullanıcıya sunarlar. Özellikle denizcilik sektörü gibi gerçek yük operasyonlarında, seyirde, makine dairesinde, güvertede en ufak bir hatada yüksek maliyetlerin ve hatta can kayıplarının olabileceği risklerin mevcut olduğu bir alanda eğitimin en gerçekçi ve risksiz bir şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Denizcilikte birçok dünya ülkesi simülatörlerin kullanıldığı eğitimin çok etkili, verimli ve güvenli olduğunu yaygın bir şekilde belirtmişlerdir. Ancak dünya üzerindeki her kurum, kapsamlı eğitim programına her zaman sorunsuz bir şekilde uymayan kendi simülatör tabanlı eğitim kursunu ve programını geliştirmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada tüm dünyadaki simülatör tesislerinin bulunduğu ülke ve şehirler araştırılmıştır. Simülatör tesislerinin, ülke ve lokasyona göre anlamlı bir farklılık oluşturup oluşturmadığı tespit edilmiş, buna göre anlamlı kümelerin oluşturulup oluşturulamayacağı incelenmiştir. Analiz sonucuna göre anlamlı kümeler oluşmuş, her bir kümede yer alan ülke ve şehirler saptanmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen kümelerdeki ülke ve şehirlerin denizcilikle alakalı üniversitelerinde yer alan simülatör tiplerine göre eğitim biçiminin ve yetkinliklerinin incelenmesi için elde edilen bu öncü dünya ülkelerinin ve şehirlerinin referans oluşturması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülatör tesisi, Denizcilik, Kümeleme analizi

Distribution of simulators used in maritime education around the world

Abstract: Throughout history, marine simulation in maritime education has been used to train qualified, well-trained captains and engineers who can take responsibility for their job and environment to ships around the world. Simulations present real environments to the user with virtual reality and with minimal risk. It is great importance that the training is carried out in the most realistic and risk-free way in an area where there are risks in which there may be high costs and even loss of life in the slightest error on the navigation, engine room, deck, cargo operation in maritime. Many countries of the world in maritime have widely stated that the training using simulators is very effective, efficient and safe. However, every institution in the world has developed its own simulator-based training course and program, which does not always fit seamlessly into the comprehensive training program. For this purpose, the countries and cities where simulator facilities are located all over the world were researched in this study. It was determined whether the simulator facilities create a significant difference according to the country and location, and it was examined whether meaningful clusters could be created accordingly. According to the results of the analysis, meaningful clusters were formed and the countries and cities in each cluster were determined. It is aimed that these pioneering countries and cities of the world obtained from the analysis results to examine the training style and competencies according to the simulator types in the maritime related universities of the countries and cities in the clusters.

Key words: Simulator facility, Maritime, Clustering analysis

* Corresponding author. Tel.: 02163954501

E-mail address: bolatf@itu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-9807-7089

Received 31 January 2021; accepted 09 March 2021

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Deniz simülatorleri, yetkin gemi adamları yetiştirmek için denizcilik eğitiminde teorik bilgiyi pratiğe çevirmede kullanılan önemli uygulamalı tesislerden biridir. Profesyonel denizciler yetiştirmek aynı zamanda denizcilik eğitimi alanında başarının ve rekabet gücünün de eksenini oluşturmaktadır. Denizcilik eğitim sürecinin yükseköğretim seviyelerinin niteliksel olarak yükseltilmesi, ağırlıklı olarak eğitmenlere, eğitim yazılımlarının öğretici değerlerine ve bunların aktarılmasına, uygulanmasına ve aktarılması için etkili eğitim sağlamada olumlu fayda sağlayan gelişmiş ve akıllı senaryolar içeren simülasyon programlarının içeriğine bağlıdır.

Simülasyonlar, gerçek platformlar, alanlar ve çevreler gibi dünya sistemlerini uygun teknolojik altyapısı ile sanal olarak benzetir, sistem maddeleri arasında ilişkiler kurar ve süreci modeller. Bu bağlamda sistem kullanıcıları yetkinlik kazanmak istediği alanda herhangi bir risk almadan en üst seviyede uygulama yapma imkânı bulur (Sendi, 2015). Özellikle, denizcilik sektöründe yer alan gemi, bünyesinde, yüksek riskli operasyonlar, bakımlar ve faaliyetler barındırır. Seyir, yük ve balast operasyonları, yakıt operasyonları, güverte ve makine bakım tutup faaliyetleri gibi süreçlerde sorumlu olacak gemi adamlarının ilgili konularda yetkinlik kazanması için verilen eğitimin minimum risk ve maksimum gerçeklik ile gerçekleşmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla denizde öngörülemez olaylardan kaçınmak için risksiz bir ortamda beceri kazandırmak büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), simülatorler için teknik standartları geliştirmek için denizcilik topluluğunu kurmuştur (Cross, 2011). İçerisinde Uluslararası Deniz Simülatorü Forumu (IMSF), Uluslararası Denizcilik Eğitmenleri Birliği (IMLA), Det Norske Veritas (DNV) gibi önemli denizcilik organizasyon ve klas kuruluşlarının yer aldığı topluluk simülasyon sınıflarını oluşturmuştur (Board, 1996). Buna göre deniz simülatorleri dört ana gruba göre sınıflandırılmıştır. Birinci kategori gelişmiş manevra yetenekleri olan ve pilot eğitimlerinin de verilebildiği Birleştirilmiş Köprü üstü Simülatorleri gibi bütün görevleri gerçekleştirebilen simülatorleri içerir. İkinci kategori, yalnızca görsel seyir ve gerçek zamanlı işletim yeteneklerini içeren ve çoklu

görev olarak sınıflandırılan yetenekleri içeren simülatorleri kapsar. Üçüncü kategori, RADAR simülatorü gibi sınırlı görev olarak sınıflandırılan yetenekleri içeren simülatorlerdir. Dördüncü kategori ise, bilgisayar-temelli eğitim simülatorleri (CBT) gibi özel görevler olarak sınıflandırılan simülatorleri içerir (Board, 1996).

Denizcilik eğitiminde Gemi Adamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Tutma Standartları (STCW)'ye uygun olarak kullanılan çok çeşitli simülator tipleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, köprü üstü, makine, RADAR, Küresel Denizcilik Tehlike ve Güvenlik Sistemi (GMDSS) simülatorleri, bilgisayar temelli simülatorler, tanker simülatorleridir (Bouras, 2000).

Başta Japonya olmak üzere dünya çapında birçok denizcilik eğitim ve öğretim kurumu, modern mesleki gelişim teorisi ve uygulamaları ile kurulmuş profesyonel merkezlerdir. Denizcilikte ileri gitmiş birçok dünya ülkesi simülatorlerin kullanıldığı eğitimin çok etkili, verimli ve güvenli olduğunu yaygın bir şekilde belirtmişlerdir. 25 yıldan daha uzun bir süre boyunca, eğitim ve araştırma sonrası için uygun şekilde kullanıldığında ve anlaşıldığında güvenilir bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, her kurum, kapsamlı eğitim programına her zaman sorunsuz bir şekilde uymayan kendi simülator tabanlı eğitim kursunu ve programını geliştirmiştir. Eğitim etkinliğinin sadece simülatorler gibi ekipman yetenekleriyle değil, aynı zamanda eğitim metodolojisinin nasıl uygulandığıyla da artacağı konusunda kabul görmüş fikirler vardır (Bouras, 2000).

Bir eğitim merkezinde eğitim için seçilecek simülator tesisi önemlidir. Çünkü kurulan simülator tesisine göre kılavuzların ve eğitmenlerin kullanımında olan tüm görev simülatorlerinin kullanımı ve bir simülatorün karmaşıklığına kadar tüm işleyiş değişebilir. Elde edilen simülatorre göre eğitim modülü, programı oluşur, öğretim tekniği gelişir, eğitim kurumunun yeterliliği belirlenir ve en önemlisi yetiştirilen denizci adaylarının yetkinlik seviyesi değişir.

Bu bağlamda, tüm dünyadaki simülator tesislerinin bulunduğu ülke ve şehirler bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Simülator

tesislerinin, ülke ve lokasyona göre anlamlı bir farklılık oluşturup oluşturmadığı tespit edilmiş, buna göre anlamlı kümelerin oluşturulup oluşturulamayacağı incelenmiştir. Analiz sonuçlarının dünya üzerindeki denizcilikle alakalı eğitim kurumlarında yer alan simülasyon tiplerine göre eğitim biçiminin ve yetkinliklerinin incelenmesi için öncü dünya ülkelerinin ve şehirlerinin referans oluşturması amaçlanmıştır.

2. Materyaller ve Yöntem

Bu çalışmada denizcilik eğitim kurumları için tesis edilmiş simülasyonların dünya üzerindeki dağılımları ülke ve şehir (lokasyon) bazlı olarak açıklayıcı istatistiksel yöntemle gösterilmiştir. Çalışma için Küresel Entegre Denizcilik Bilgi Sistemi (GISIS) veri tabanı üzerinden toplanan verilerden dünya genelinde 674 adet simülasyon olduğu tespit edilmiştir (Url-1). Bu simülasyonlar köprü üstü, makine ve diğer simülasyonlar olarak 3 ayrı grupta toplanmıştır. Diğer kategorisi, köprü üstü ve makine simülasyonlarından farklı olarak GMDSS, RADAR, ECDIS vb. simülasyonları içermektedir. Ayrıca hiyerarşik olmayan kümeleme yönteminde K-ortalamlar tekniği kullanılarak simülasyonların ülkelere ve lokasyonlara göre anlamlı kümeler şeklinde dağılıp dağılmadığı incelenmiştir. Bu bağlamda yapılan analizlerin sonuçları 3. Bölüm Sonuçlar kısmında verilmiştir.

2.1. Kümeleme Analizi, K-Ortalamlar Yöntemi

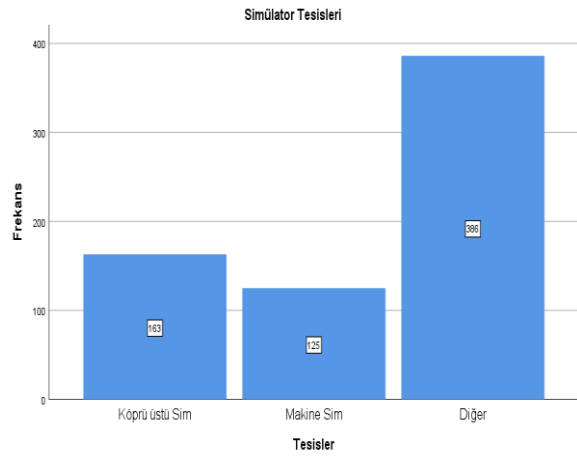
Kümeleme analizi için en yaygın kullanılan yöntemler, hiyerarşik kümeleme analizi, hiyerarşik olmayan kümeleme analizi ve iki aşamalı kümeleme analizdir. K-ortalamlar tekniği ise hiyerarşik olmayan kümeleme yönteminde en çok kullanılan algoritmalarından biridir (Halkidi ve ark., 2001; Kanungo ve ark., 2002; Pakhira ve ark., 2004).

MacQueen (1967) ilk olarak K- ortalamlar algoritmasını literatüre katmıştır. Karmaşık ve büyük miktarlardaki verileri kullanarak anlamlı kümeler elde etmek için K-ortalamlar tekniği uygun bir yöntemdir. K-ortalamlar yöntemi, karmaşık bir veri kümesinden anlamlı olarak k adet grup oluşturur. Çalışma prensibine göre, başta k adet küme merkezi belirlenir. Her bir veri gözlemi mesafe olarak en yakın olduğu kümeye geçer. Ardından yeni üyeye sahip oluşan küme merkezi, her defasında sahip olduğu veri gözlemlerinin ortalamasını yeniden

hesaplar ve ona uygun olarak diğer gözlemin mesafesi belirlenir. Her bir gözlemin kümeye olan uzaklığı Kareli Öklid denklemine göre hesaplanır. Bu aşamada aynı zamanda hata fonksiyonu tanımlanır. Bu aşamaların gerçekleştiği adımlar başlangıç adımı, tekrarlama adımı, iyileştirme adımı ve durma adımı olarak isimlendirilir (Wu ve Yang, 2002; Gan ve ark., 2007; Jain, 2010; Tekin, 2018).

3. Analiz ve Bulgular

674 adet simülasyonun kategorilerine göre dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre dünya üzerinde 163 adet köprü üstü simülasyon ve 125 adet makine simülasyonu bulunmaktadır. Geriye kalan 386 adet simülasyon, GMDSS, ECDIS, RADAR vb. gibi diğer simülasyon türlerini içermektedir.



Şekil 1. Simülasyon türlerinin kategorilerine göre dağılımları.

Dünya üzerinde bulunan bu simülasyonlar 39 farklı ülke ve 103 farklı lokasyonda bulunmaktadır. Her bir ülkeye ve lokasyona ait simülasyon sayılarının grafiksel gösterimleri Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'deki gibidir.

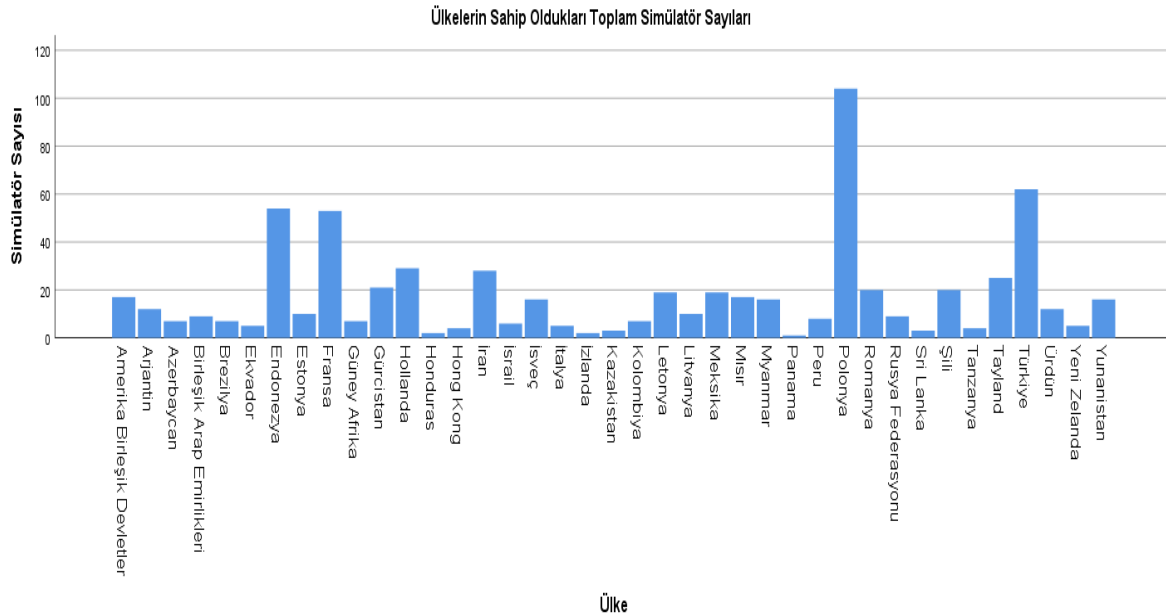
Şekil 2'ye göre, 104 adet simülasyon ile eğitim kurumlarında en fazla simülasyonu olan ülke Polonya iken, ikinci sırada 62 adet simülasyonu ile Türkiye gelmektedir. Endonezya 54, Fransa 53 adet simülasyonu ile dünya da üçüncü ve dördüncü sırayı almaktadır. Dünya sıralamasında Polonya % 15.4'lük dilime girerken, Türkiye % 9.2, Endonezya % 8 ve Fransa % 7.9'luk dilimdedir. Diğer ülkelerin eğitim kurumlarındaki toplam simülasyon sayısı ortalama 11 adet olup dünya sıralamasında % 3'lük dilimler şeklinde dağılım göstermektedir.

Şekil 3’de simülâtör tiplerinin ülkelere göre dağılımları gösterilmektedir. Özel olarak Polonya da bulunan 104 adet simülâtörün, 21 tanesi köprü üstü simülâtörü, 25 tanesi makine simülâtörü ve 58 tanesi diğer simülâtörlerden oluşmaktadır. Türkiye’de ise 14 tane köprü üstü simülâtörü, 10 tane makine simülâtörü ve 38 tane diğer simülâtörler bulunmaktadır. Endonezya’da 12 şer adet makine ve köprü üstü simülâtörü bulunurken, Fransa’da 15 adet köprü üstü, 13 adet makine simülâtörü bulunmaktadır. Karşılaştırılan bu dört ülkeden en fazla köprü üstü ve makine simülâtörüne sahip olan ülke Polonya olup, onu Fransa takip etmektedir. Ardından köprü üstü simülâtörü açısından Türkiye Endonezya’dan daha fazla sayıya sahipken, makine simülâtörü olarak Endonezya Türkiye’den daha fazla simülâtöre sahiptir.

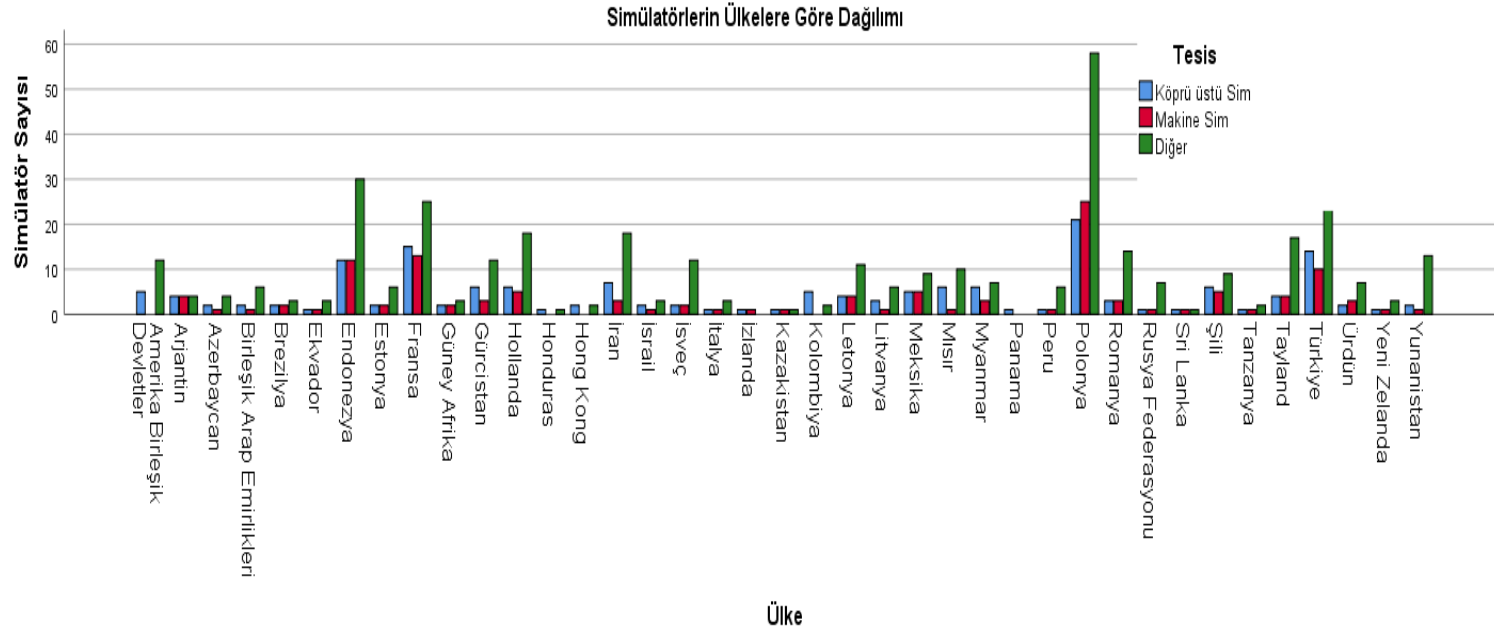
Şekil 4’de simülâtörlerin buldukları lokasyona (ülkelerin illerine göre) göre dağılımları gösterilmektedir. Buna göre, toplam 46 adet simülâtör sayısı ile en fazla simülâtöre sahip olan şehir Polonya’nın Szczecin şehridir. Dünya sıralamasında % 6.8’lik dilim içerisinde yer almaktadır. İkinci sırada toplam 41 adet simülâtör sayısı (% 6.1) ile yine Polonya’ya bağlı Gdynia şehri gelmektedir. Polonya’dan sonra en fazla simülâtöre sahip şehir 31 adet simülâtörü (% 4.6) ile Türkiye’den

İstanbul’dur. Dördüncü sırada 21 adet simülâtörü (% 3.1) ile Gürcistan’a bağlı Batum ve beşinci sırada 20 adet simülâtörü (% 3.0) ile Romanya’ya bağlı Köstence gelmektedir. Ülke olarak bakıldığında, Gürcistan toplam sahip olduğu simülâtör sayısı bakımından sekizinci sıradayken (% 3.1), Romanya onuncu sıradadır (% 3.0). Ancak üst sıralarda yer alan ülkelerin daha fazla şehir sayısı olduğu için toplamdaki simülâtör sayıları daha fazla gözükmektedir.

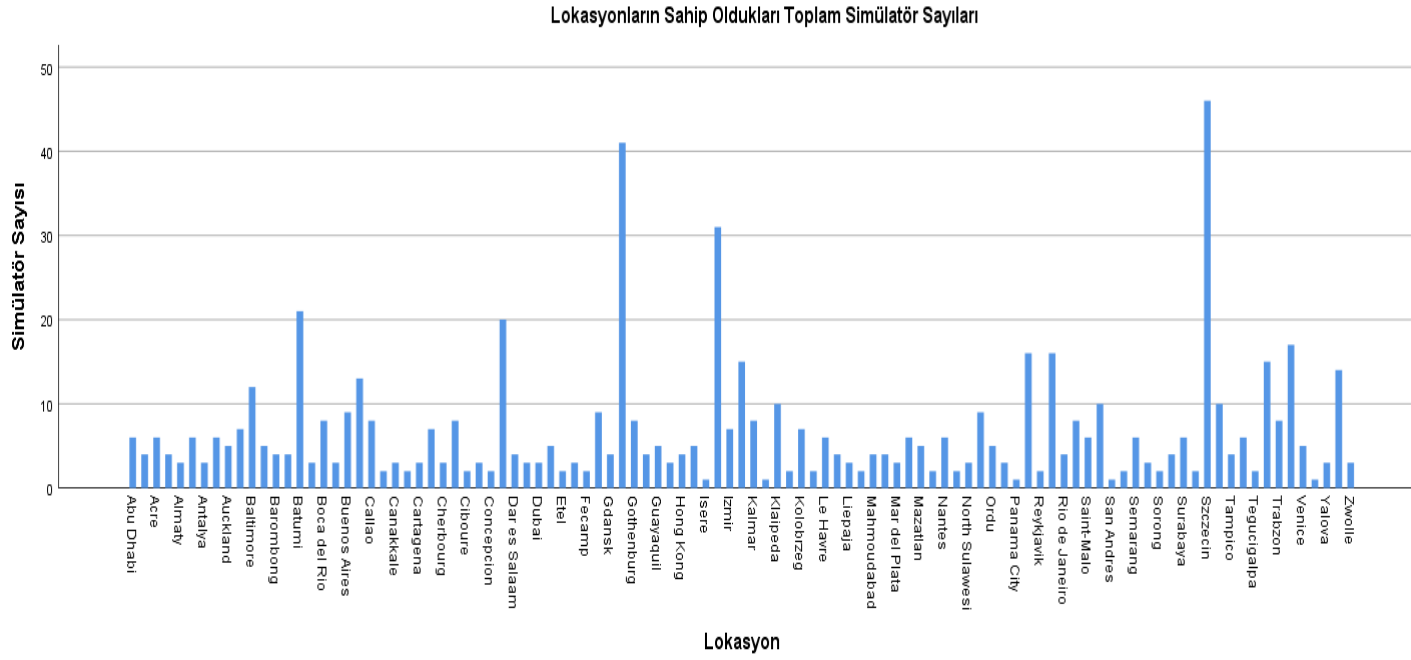
Şekil 5’te simülâtör tiplerinin lokasyonlara göre dağılımı gösterilmektedir. Dünya’da en fazla köprü üstü ve makine simülâtörü bulunan şehir sırasıyla 11 adet ve 10 adet ile Szczecin’dir. Ardından, Batum, Gdynia ve İstanbul illeri 6 adet köprü üstü simülâtörü ile aynı sırayı paylaşmaktadır. Diğer taraftan Polonya’nın Kedzierzyn-Kozle şehrinde, Letonya’nın Liepaja şehrinde ve Tayland’ın Nakhon Si Thammarat şehrinde hiç köprü üstü simülâtörü bulunmamaktadır. Makine köprü üstü simülâtöründe Gdynia’dan sonra Türkiye’nin İstanbul şehri ve Polonya’nın Kolobrzeg şehri 5 adet simülâtör sayısı ile aynı sırayı paylaşmaktadır. 103 lokasyonun 23 adet şehrinde hiç makine simülâtörü bulunmamaktadır.



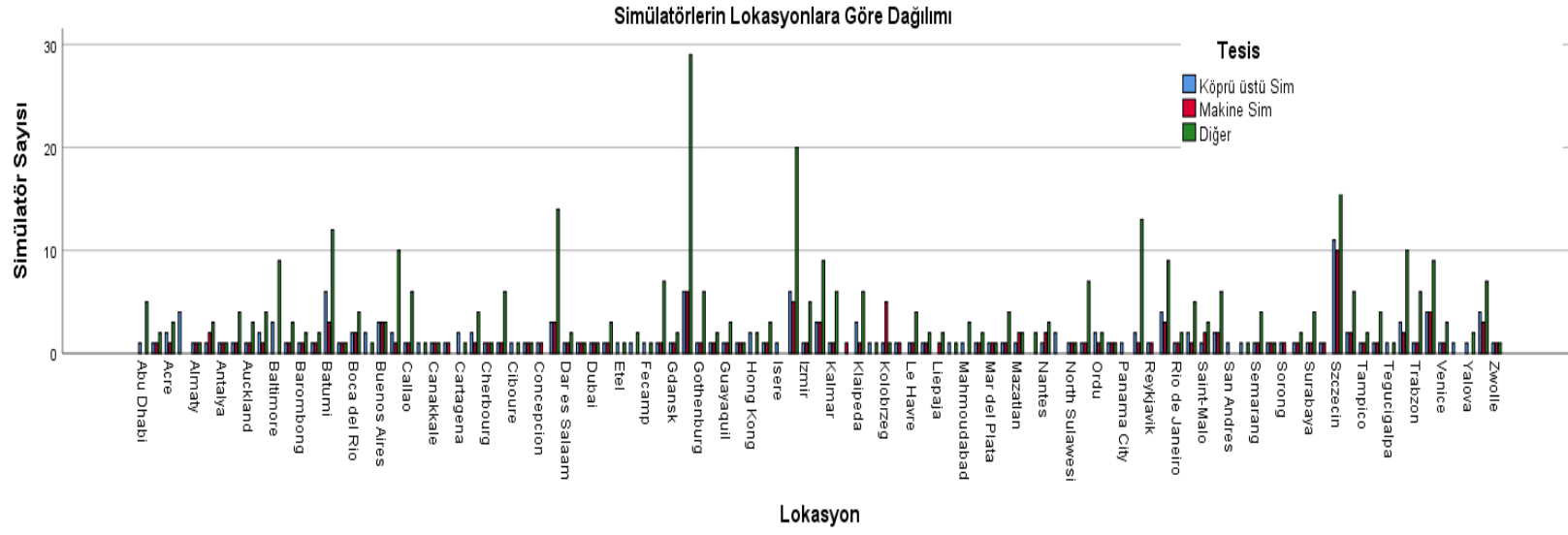
Şekil 2. Ülkelerin sahip oldukları toplam simülâtör sayılarına göre dağılımı.



Şekil 3. Simülâtör tiplerinin ülkelere göre dağılımı.



Şekil 4. Lokasyonların sahip oldukları toplam simülâtör sayılarına göre dağılımı.



Şekil 5. Simülâtörler tiplerinin lokasyonlara göre dağılımı.

Simülâtör tiplerinin dağılımında ülkelerin ve lokasyonların anlamlı birer grup değişkeni olup olmadıklarını anlamak ve anlamlı şekilde kümelenebilir olup olmadığını tespit etmek amacıyla K-ortalamlar tekniği kullanılmıştır. Bu bağlamda her bir veri örneğinin küme dağılımları Tablo 1’de gösterilmiştir. Analiz sonucuna göre elde edilen anlamlılık değeri uygun şekilde çıktığından ($p<0.05$) Tablo 1’e göre her kümenin ülke, lokasyon ve simülâtör tip özellikleri çıkarılabilir.

Tablo 2’de ülke ve lokasyon grup değişkenlerinin tesis değişkeni üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturup oluşturmadığının sonucu yer almaktadır. Bu amaçla Kruskal Wallis – H testi yapılmıştır. Kruskal Wallis – H testi, normal dağılım göstermeyen veriler de gruplar arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılır (Ostertagová et al., 2014). Tablo 2’ye göre, ülke ve lokasyon değişkenleri tesis değişkeni üzerinde anlamlı bir farklılık göstermektedir ($p<0.05$).

Tablo 3’de değişkenlerin tesis üzerindeki ortalama değerleri gösterilmiştir. Buna göre, hangi değişkenin hangi simülâtör tipi üzerinde daha fazla farklılık gösterdiği çıkarılabilir.

Tablo 1. Kruskal Wallis test

Test İstatistik ^{a,b}		
	Ülke	Lokasyon
Kruskal-Wallis H	6,928	6,886
df	2	2
Asymp.Sig.	,031	,032

a.Kruskal Wallis Test
b.Grup Değişkeni: Tesis

Tablo 2. Değişkenlerin tesis üzerindeki ortalamaları.

Sıralama			
	Tesis	N	Ortalama
Ülke	Köprü üstü	163	309,42
	Makine	125	322,94
	Diğer	386	354,08
	Toplam	674	
Lokasyon	Köprü üstü	163	305,79
	Makine	125	331,18
	Diğer	386	352,94
	Toplam	674	

Tablo 3. K-ortalamlar tekniği ile kümeleme analizi sonuçları.

Veri No	Küme	Uzaklık	Veri No	Küme	Uzaklık	Veri No	Küme	Uzaklık	Veri No	Küme	Uzaklık	Veri No	Küme	Uzaklık	Veri No	Küme	Uzaklık
1	1	18,033	121	2	10,156	241	2	11,021	361	1	13,453	481	3	12,173	601	2	3,848
2	1	17,103	122	2	10,156	242	2	10,065	362	1	13,453	482	3	12,173	602	2	3,848
3	1	17,103	123	2	10,156	243	2	10,065	363	1	13,453	483	3	13,065	603	2	4,545
4	1	17,103	124	2	10,156	244	2	10,065	364	1	13,453	484	3	13,065	604	2	4,545
5	1	15,816	125	2	9,219	245	2	10,065	365	1	13,453	485	3	13,065	605	2	4,545
6	1	15,816	126	2	8,297	246	2	10,065	366	1	13,453	486	3	13,065	606	2	4,545
7	1	14,553	127	2	7,395	247	2	11,021	367	1	14,650	487	3	13,065	607	2	4,545
8	1	13,606	128	2	6,521	248	2	11,021	368	1	14,650	488	3	13,065	608	2	4,545
9	1	12,359	129	2	5,219	249	2	11,021	369	1	14,650	489	3	13,065	609	2	22,621
10	1	12,359	130	2	5,219	250	2	10,065	370	1	14,650	490	3	13,972	610	2	22,621
11	1	12,359	131	2	5,219	251	2	10,065	371	1	14,650	491	3	13,972	611	2	5,339
12	1	12,359	132	2	3,994	252	2	10,065	372	1	14,650	492	3	14,891	612	2	5,339
13	1	11,405	133	2	2,943	253	2	10,065	373	1	14,650	493	3	14,891	613	2	5,339
14	1	10,460	134	2	2,123	254	2	10,065	374	1	14,650	494	3	14,891	614	2	5,339
15	1	9,222	135	2	1,794	255	2	9,119	375	1	14,650	495	3	15,820	615	2	5,339
16	1	9,222	136	2	2,435	256	2	8,185	376	1	14,650	496	2	14,882	616	2	5,339
17	1	8,269	137	2	2,788	257	2	7,269	377	1	14,650	497	2	14,882	617	2	6,724
18	1	8,269	138	2	4,060	258	2	7,269	378	1	14,650	498	2	14,882	618	2	7,554
19	1	7,329	139	2	4,726	259	2	7,269	379	1	14,650	499	2	12,285	619	2	7,554
20	1	6,111	140	2	5,493	260	2	7,269	380	1	15,882	500	2	12,285	620	2	7,554
21	1	4,998	141	2	5,493	261	2	7,269	381	1	17,143	501	2	12,285	621	2	7,554
22	1	4,998	142	2	6,848	262	2	6,379	382	1	17,143	502	2	12,285	622	2	7,554
23	1	4,998	143	2	7,664	263	2	21,645	383	3	15,865	503	2	12,285	623	2	7,554
24	1	4,998	144	2	7,664	264	2	5,040	384	3	14,907	504	2	12,285	624	2	7,554
25	1	4,039	145	2	8,519	265	2	5,040	385	3	14,907	505	2	11,028	625	2	7,554
26	1	4,039	146	2	7,664	266	2	5,040	386	3	13,955	506	2	11,028	626	2	8,420
27	1	3,154	147	2	9,404	267	2	3,756	387	3	13,955	507	2	11,028	627	2	7,554
28	1	3,154	148	2	10,309	268	2	2,612	388	3	12,073	508	2	11,028	628	2	7,554
29	1	2,754	149	2	11,230	269	2	1,633	389	3	12,073	509	2	11,028	629	2	9,314
30	1	2,217	150	2	11,230	270	2	1,174	390	3	12,073	510	2	11,028	630	2	10,227
31	1	2,061	151	2	12,164	271	2	2,023	391	3	12,073	511	2	11,028	631	2	10,227
32	1	2,362	152	2	7,664	272	2	2,436	392	3	11,148	512	2	11,028	632	2	10,227
33	1	2,985	153	2	7,664	273	2	3,827	393	3	11,148	513	2	11,028	633	2	10,227
34	1	3,774	154	2	7,664	274	2	4,527	394	3	11,148	514	2	11,028	634	2	10,227
35	1	4,645	155	2	13,108	275	2	5,323	395	3	11,148	515	2	11,028	635	2	10,227
36	1	5,559	156	2	14,371	276	2	5,323	396	3	11,148	516	2	11,028	636	2	11,155
37	1	6,499	157	2	15,309	277	2	6,712	397	3	11,148	517	2	11,028	637	2	11,155
38	1	7,454	158	2	16,585	278	2	7,543	398	3	10,237	518	2	11,028	638	2	12,095
39	1	8,420	159	2	17,883	279	2	7,543	399	3	10,237	519	2	11,028	639	2	12,095

Tablo 4 (Devamı). K-ortalamalar tekniği ile kümeleme analizi sonuçları.

40	1	9,393	160	2	18,805	280	2	8,411	400	3	9,344	520	2	10,073	640	2	12,095
41	1	10,371	161	2	18,805	281	2	7,543	401	3	9,344	521	2	10,073	641	2	12,095
42	1	11,353	162	2	18,805	282	2	10,219	402	3	9,344	522	2	10,073	642	2	12,095
43	1	12,338	163	2	19,735	283	2	11,148	403	3	9,344	523	2	10,073	643	2	7,554
44	1	13,486	164	1	17,061	284	2	12,088	404	3	8,476	524	2	10,073	644	2	7,554
45	1	13,486	165	1	17,993	285	2	7,543	405	3	8,476	525	2	10,073	645	2	7,554
46	1	13,486	166	1	17,061	286	2	7,543	406	3	7,639	526	2	10,073	646	2	7,554
47	1	13,486	167	1	17,061	287	2	15,249	407	3	7,639	527	2	10,073	647	2	7,554
48	1	13,486	168	1	15,770	288	2	16,530	408	3	7,639	528	2	10,073	648	2	7,554
49	1	13,486	169	1	14,503	289	1	18,008	409	3	7,639	529	2	11,028	649	2	7,554
50	1	14,680	170	1	13,553	290	1	17,077	410	3	11,148	530	2	11,028	650	2	7,554
51	1	14,680	171	1	12,301	291	1	17,077	411	3	11,148	531	2	11,028	651	2	7,554
52	1	15,910	172	1	12,301	292	1	17,077	412	3	11,148	532	2	11,028	652	2	7,554
53	1	17,169	173	1	12,301	293	1	15,788	413	3	6,259	533	2	11,028	653	2	13,043
54	1	17,169	174	1	12,301	294	1	15,788	414	3	6,259	534	2	11,028	654	2	13,043
55	3	17,148	175	1	11,342	295	1	15,788	415	3	6,259	535	2	10,073	655	2	14,312
56	3	15,902	176	1	5,992	296	1	15,788	416	3	6,259	536	2	11,028	656	2	14,312
57	3	14,947	177	1	3,856	297	1	14,522	417	3	5,449	537	2	11,028	657	2	14,312
58	3	13,997	178	1	2,917	298	1	14,522	418	3	5,449	538	2	11,028	658	2	15,254
59	3	13,055	179	1	2,917	299	1	13,573	419	3	5,449	539	2	11,028	659	2	14,312
60	3	12,123	180	1	2,478	300	1	12,323	420	3	5,449	540	2	11,028	660	2	14,312
61	3	11,201	181	1	1,864	301	1	12,323	421	3	4,713	541	2	11,028	661	2	16,535
62	3	11,201	182	1	9,316	302	1	12,323	422	3	4,713	542	2	11,028	662	2	16,535
63	3	10,295	183	1	1,675	303	1	12,323	423	3	4,713	543	2	11,028	663	2	17,836
64	3	9,408	184	1	2,034	304	1	12,323	424	3	4,713	544	2	10,073	664	2	17,836
65	3	8,546	185	1	2,733	305	1	12,323	425	3	4,713	545	2	10,073	665	2	18,761
66	3	7,717	186	1	3,578	306	1	12,323	426	3	4,713	546	2	10,073	666	2	18,761
67	3	11,201	187	1	7,357	307	1	12,323	427	3	4,713	547	2	10,073	667	2	18,761
68	3	6,353	188	1	1,864	308	1	12,323	428	3	4,713	548	2	10,073	668	2	18,761
69	3	6,353	189	1	8,334	309	1	9,174	429	3	4,713	549	2	10,073	669	2	18,761
70	3	5,557	190	1	9,316	310	1	8,216	430	3	4,713	550	2	10,073	670	2	18,761
71	3	5,557	191	1	10,301	311	1	6,038	431	3	3,321	551	2	10,073	671	2	18,761
72	3	4,838	192	1	11,289	312	1	6,038	432	3	3,321	552	2	10,073	672	2	18,761
73	3	4,838	193	1	13,432	313	1	6,038	433	3	3,321	553	2	10,073	673	2	18,761
74	3	4,838	194	1	13,432	314	1	3,928	434	3	1,963	554	2	10,073	674	2	19,693
75	3	3,496	195	1	13,432	315	1	3,928	435	3	1,963	555	2	10,073			
76	3	3,496	196	1	14,631	316	1	3,928	436	3	1,963	556	2	10,073			
77	3	2,246	197	3	17,102	317	1	3,928	437	2	23,416	557	2	10,073			
78	3	1,365	198	3	15,852	318	1	3,928	438	2	23,416	558	2	10,073			
79	3	1,543	199	3	14,893	319	1	3,928	439	2	23,416	559	2	9,128			
80	3	2,281	200	3	13,940	320	1	3,928	440	3	1,091	560	2	9,128			

Tablo 5 (Devamı). K-ortalamalar tekniği ile kümeleme analizi sonuçları.

81	3	3,467	201	3	12,994	321	1	3,928	441	3	1,091	561	2	8,195
82	3	3,467	202	3	12,057	322	1	3,928	442	3	1,091	562	2	7,280
83	3	3,467	203	3	11,130	323	1	3,928	443	3	1,091	563	2	5,056
84	3	3,467	204	3	11,130	324	1	3,011	444	3	2,003	564	2	5,056
85	3	4,779	205	3	10,217	325	1	3,011	445	2	23,236	565	2	5,056
86	3	4,779	206	3	9,323	326	1	3,011	446	2	23,236	566	2	5,056
87	3	4,779	207	3	8,452	327	1	3,011	447	3	3,291	567	2	5,056
88	3	6,137	208	3	7,613	328	1	3,011	448	3	3,291	568	2	5,056
89	3	6,941	209	3	11,130	329	1	3,011	449	3	3,291	569	2	5,056
90	3	7,791	210	3	6,227	330	1	2,588	450	3	3,291	570	2	5,056
91	3	8,673	211	3	4,670	331	1	2,588	451	3	3,291	571	2	5,056
92	3	8,673	212	3	4,670	332	1	2,588	452	3	3,291	572	2	5,056
93	3	10,002	213	3	3,260	333	1	2,588	453	3	3,291	573	2	5,056
94	3	10,002	214	3	1,857	334	1	2,008	454	3	3,291	574	2	5,056
95	3	10,888	215	2	23,413	335	1	2,008	455	3	3,291	575	2	5,056
96	3	10,888	216	2	23,413	336	1	2,008	456	3	4,653	576	2	5,056
97	3	10,002	217	3	,887	337	1	9,346	457	3	4,653	577	2	3,778
98	3	10,002	218	3	1,899	338	1	9,346	458	3	4,653	578	2	3,778
99	3	12,222	219	2	23,232	339	1	1,834	459	3	4,653	579	2	3,778
100	3	12,222	220	3	3,229	340	1	1,834	460	3	4,653	580	2	3,778
101	3	13,111	221	3	3,229	341	1	1,834	461	3	4,653	581	2	3,778
102	3	14,015	222	3	3,229	342	1	1,834	462	3	6,039	582	2	3,778
103	3	14,931	223	3	4,610	343	1	2,167	463	3	6,855	583	2	3,778
104	3	15,857	224	3	6,825	344	1	2,167	464	3	6,855	584	2	2,643
105	2	14,939	225	3	7,688	345	1	2,833	465	3	7,714	585	2	2,643
106	2	13,634	226	3	6,825	346	1	2,833	466	3	7,714	586	2	2,643
107	2	12,353	227	3	8,580	347	1	3,655	467	3	8,604	587	2	1,241
108	2	11,104	228	3	8,580	348	1	4,549	468	3	8,604	588	2	2,062
109	2	11,104	229	3	9,922	349	1	5,479	469	3	8,604	589	2	2,062
110	2	11,104	230	3	9,922	350	1	6,431	470	3	8,604	590	2	2,062
111	2	11,104	231	3	9,922	351	1	8,368	471	3	9,942	591	2	2,062
112	2	10,156	232	3	12,157	352	1	9,346	472	3	9,942	592	2	2,062
113	2	10,156	233	3	13,050	353	1	10,329	473	3	9,942	593	2	2,062
114	2	10,156	234	3	13,958	354	1	11,314	474	3	9,942	594	2	2,469
115	2	10,156	235	3	14,877	355	1	13,453	475	3	9,942	595	2	2,469
116	2	10,156	236	3	15,807	356	1	13,453	476	3	9,942	596	2	2,469
117	2	11,104	237	2	14,877	357	1	13,453	477	3	9,942	597	2	2,469
118	2	10,156	238	2	12,278	358	1	13,453	478	3	12,173	598	2	2,469
119	2	11,104	239	2	11,021	359	1	13,453	479	3	12,173	599	2	2,469
120	2	10,156	240	2	11,021	360	1	13,453	480	3	12,173	600	2	3,848

4. Tartışma

Kümelerin bünyesinde bulundurduğu ülke, lokasyon ve simülator değişkenleri incelendiğinde Şekil 6, 7 ve 8'deki gibi dağılımlar elde edilmiştir. Buna göre, Küme 1 de en fazla ortalamaya sahip olan ülkeler sırasıyla, Fransa, Gürcistan ve Şili'dir, en fazla ortalamaya sahip lokasyonlar ise sırasıyla Batum, Valparaiso ve Pire'dir. Küme 2 de ağırlıklı olan ülkeler sırasıyla Polonya, Türkiye ve Tayland'dır, ağırlıklı olan lokasyonlar ise sırasıyla Gdynia, Szczecin ve İstanbul'dur. Küme 3 de ise en fazla Endonezya, Hollanda ve İran ülkelerinin etkisi gözükürken, en fazla Rio de Janeiro, Kalmar, Trabzon şehirlerinin etkisi gözükmektedir. Her üç kümede de köprü üstü ve makine simülatorlerinin dışında kalan simülator tipleri hakimdir. Diğer taraftan her üç kümede köprü üstü ve makine simülatorlerinin dağılımları kendi içlerinde birbirlerine oldukça yakın sayıda gözükmektedir. Buradan simülatorler tiplerinin kümeler arasında ayırıcı bir özellikte olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak Tablo 2'deki Kruskal-Wallis testine göre ülke ve şehirlerin simülator tipleri üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 3'e göre ülkelerin ve şehirlerin anlamlı farklılık gösterdiği simülator tipleri sırasıyla diğer simülatorler, makine ve köprü üstü simülatorleridir.

Analiz sonuçlarına göre ülkeler arasında ayırıcı özellikte bulunan ülkelerin Polonya, Türkiye, Endonezya ve Fransa olduğu görülürken, en belirgin şehirlerin Szczecin, Gdynia, Köstence, Batum, ve İstanbul olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bu ülkeler ve şehirler denizcilik kurumlarında kullandıkları simülator tipleri ve sayılarına göre diğer ülkelere göre önemli ölçüde ayrılmaktadır (Tablo 2'de $p < 0.05$).

Szczecin şehri Polonya'nın Baltık Denizi'ne bakan en büyük deniz limanıdır. Bu şehirde bulunan denizcilik üniversitesi Polonya'nın en önemli devlet üniversitelerinden biridir. Üniversite bünyesinde seyir fakültesi, denizcilik mühendisliği fakültesi, ekonomi ve ulaştırma fakültesi, mekatronik ve elektrik mühendisliği fakültesi ve bilgisayar bilimleri ve

telekomünikasyon fakültesi olmak üzere beş farklı fakülte bulundurmaktadır (Url-2).

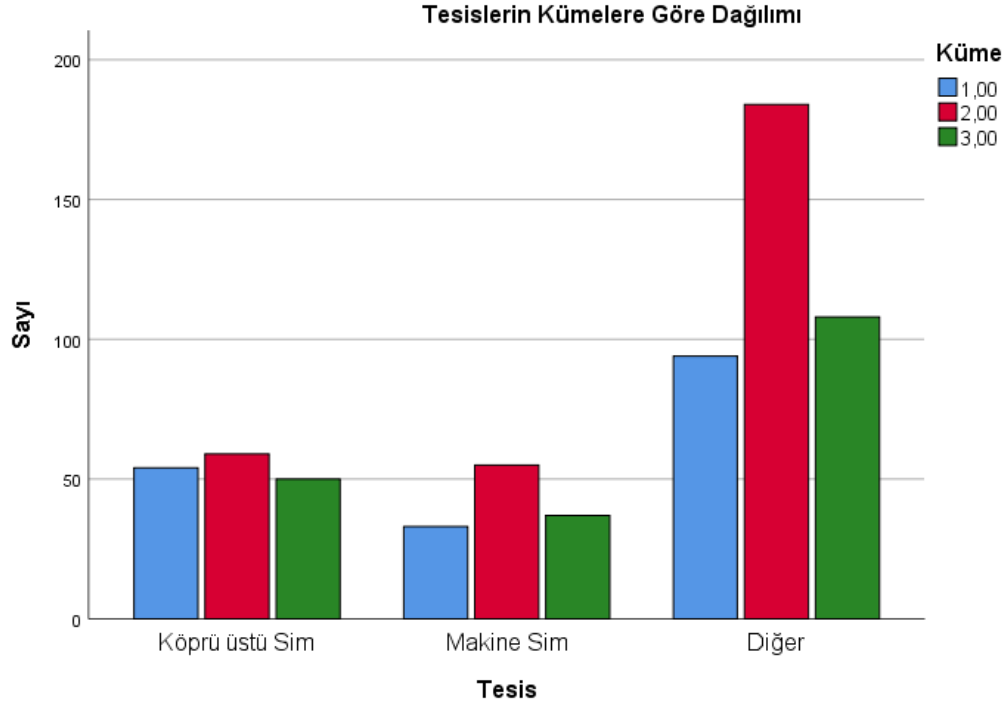
Gdynia, Polonya'nın Pomeranya Bölgesi'nde bulunan ve Baltık Denizi'nin güney kıyısında yer alan Gdańsk Körfezi'nde önemli bir limanı bulunan bir şehirdir kentidir. Gdynia Denizcilik Üniversitesi Polonya'nın ve Avrupa'nın en büyük denizcilik devlet üniversitesidir. Üniversite, seyir, deniz mühendisliği, deniz elektrik mühendisliği ve işletme olarak dört fakülteden oluşmaktadır (Url-3).

Köstence Karadeniz kıyısındaki en büyük liman şehridir. Köstence Denizcilik Üniversitesi, seyir ve deniz taşımacılığı fakültesi ve deniz mühendisliği olarak iki ayrı fakülteden oluşur (Url-4).

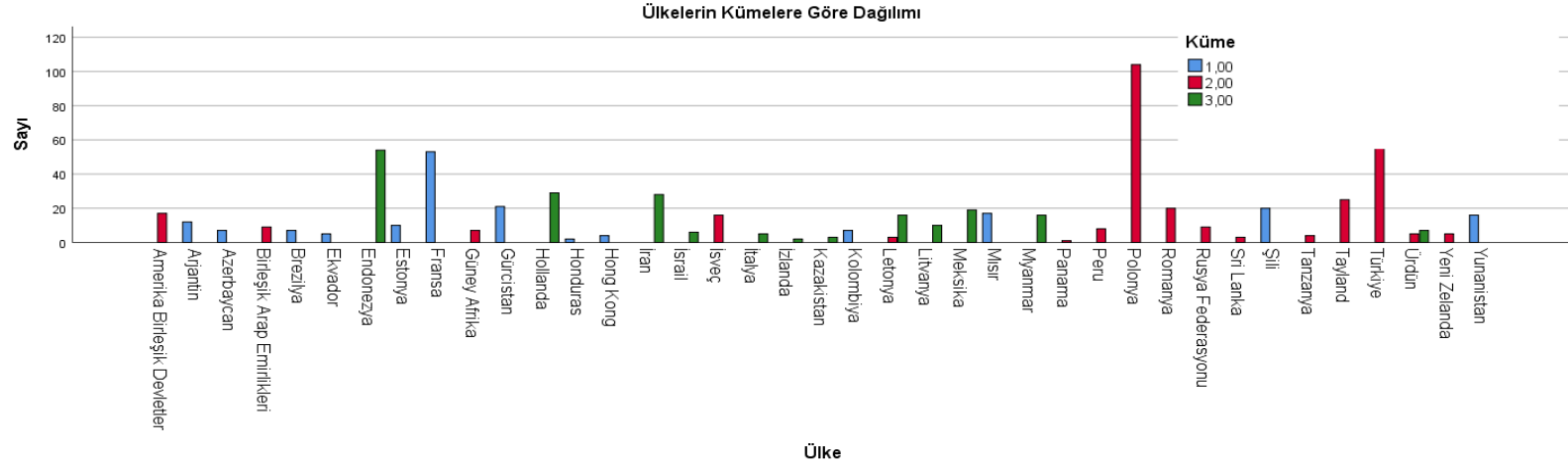
Batum, Gürcistan'ın başkenti ve Karadeniz kıyısındaki önemli bir liman ve ticaret merkezi olan şehridir. Şehirde bulunan Batum Denizcilik Akademisi, seyir, deniz mühendisliği ve işletme fakültelerinden oluşur. Her bir fakülte denizciliğin ayrı dallarını içeren programlara sahiptir (Url-5).

İstanbul ise Türkiye'nin en önemli, kalabalık, tarihi, ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan en değerli şehirlerinden biridir. İstanbul'da denizcilik eğitimi veren üniversiteler İstanbul Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Piri Reis Üniversitesi'dir (Url-6). Ancak bu üniversiteler analiz sonucu önde gelen diğer şehirlerde yer alan üniversiteler gibi başlı başına bir denizcilik üniversiteleri değildir. Her bir üniversitenin altında yer alan denizcilik ile ilgili birer fakültedir. Analiz sonucunda ayırıcı özelliği olan ülkeler şehirlerinde barındırdıkları bir ya da iki adet denizcilik üniversitesi ile simülator tesisi bakımından kümelerde ağırlık gösterirken Türkiye, İstanbul şehrinde bulundurduğu denizcilik fakülteleri ile bu bakımdan öne çıkmaktadır.

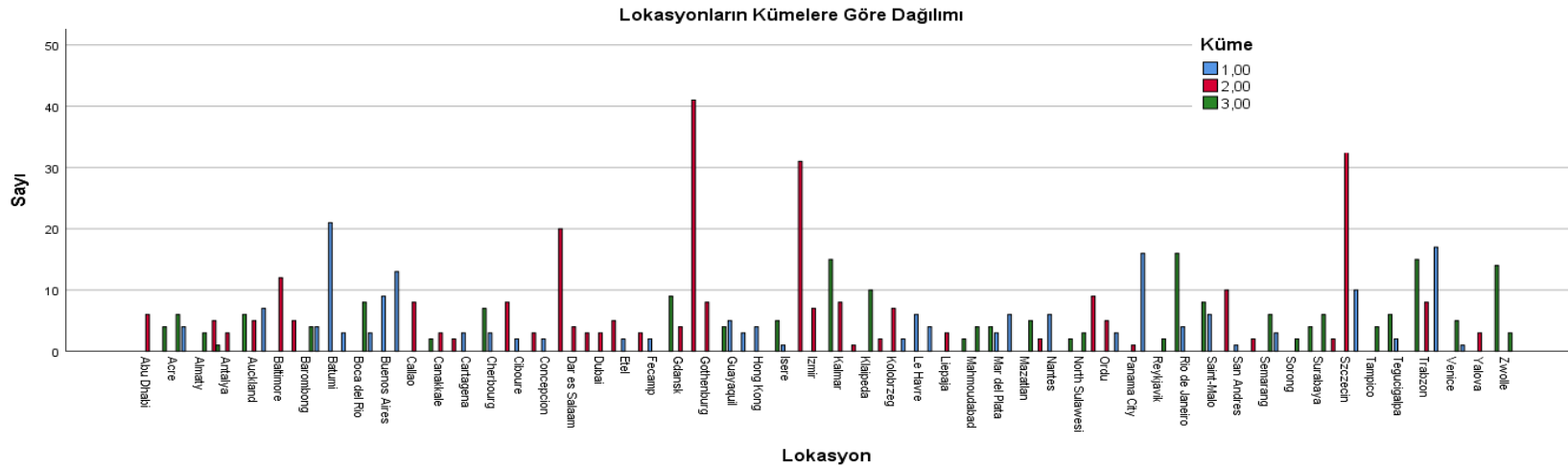
Gelecek çalışmalarda, öncü şehirlerin denizcilik üniversitelerindeki öğrenci kapasitesi ve eğitim imkânları ile İstanbul şehrinin denizcilik fakültelerinin aynı değişkenleri kıyaslanarak simülator tiplerine göre eğitim modellerinin SWOT analizleri yapılabilir.



Şekil 6. Tesislerin kümelere göre dağılımı.



Şekil 7. Ülkelerin kümeler arasındaki dağılımı.



Şekil 8. Lokasyonların kümeler arasındaki dağılımı.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Teşekkür edilecek bir kurum ya da kuruluş bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kişi ya da kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır

Kaynaklar

Board, M. (1996). *Simulated Voyages: Using Simulation Technology to Train and License Mariners*: National Academies Press.

Bouras, D. (2000). An Investigation into The Feasibility of Introducing A Marine Engine Simulator into the Algerian MET [Maritime Education and Training] System. *World Maritime University Dissertations*, 76.

Cross, S. J. (2011). Quality MET through Quality Simulator Applications. *Paper presented at the International Conference IMLA*.

Gan, G., Ma, C. ve Wu, J. (2007). *Data Cluster Theory, Algorithms And Applications (Asa-Siam Series On Statistics And Applied Probability)*, Canada: SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics Publishing.

Halkidi, M., Batistakis, Y. & Vazirgiannis, M. (2001). On Clustering Validation Techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17, 107–145. <https://doi.org/10.1023/A:1012801612483>

Jain, A. K. (2010). Data Clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.

Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An Efficient K-Means Clustering Algorithm: Analysis And Implementation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24 (7), 881-892. doi: 10.1109/TPAMI.2002.1017616.

MacQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probabilities*, 1, 281-296.

Ostertagová, E., Ostertag, O., & Kováč, J. (2014). Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied Mechanics and Materials*, 611, 115–120.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115>

Pakhiraa, K., Bandyopadhyay, S., & Maulik, U. (2004). Validity Index for Crisp and Fuzzy Clusters. *Pattern Recognition*, 37 (3), 487-501. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.06.005>

Sendi, Y. (2015). Integrated Maritime Simulation Complex Management, Quality And Training Effectiveness From The Perspective Of Modeling And Simulation In The State Of Florida, USA (A Case Study). *University of Central Florida*, 2004–2019.

Tekin, B. (2018). Ward, K Ortalamalar Ve İki Adımlı Kümeleme Analizi Yöntemleri İle Finansal Göstergeler Temelinde Hisse Senedi Tercih. *Balıkesir University The Journal of Social Sciences Institute*, 21 (40), 401-436.

Wu, K. L. ve Yang, M. S. (2002). Alternative K-means Clustering Algorithms. *Pattern recognition*, 35(10), 2267-2278.

Url-1

<<https://gisis.imo.org/Public/SIM/Default.aspx>>, erişim tarihi 21.12.2020.

Url-2

<https://en.wikipedia.org/wiki/Maritime_University_of_Szczecin>, erişim tarihi 30.01.2021.

Url-3 <<https://www.edumaritime.net/eastern-europe/poland/gdynia-maritime-university-gdynia>>, erişim tarihi 30.01.2021.

Url-4 <<https://cmu-edu.eu/en/>>, erişim tarihi 30.01.2021.

Url-5

<<https://www.bsma.edu.ge/sub-7/program/2/index.html>>, erişim tarihi 30.01.2021.

Url-6

<<https://www.denizcilikbilgileri.com/turkiyede-denizcilik-egitimi-veren-tum-fakulteler/>>, erişim tarihi 30.01.2021.

Derleme makale

Kentiçi Otopark Analizi: Çanakkale İli Örneği

Yücel Kurtuluş¹, Hasan Şahin^{2,*}, Mehmet Tektaş³

¹ Bandırma Onyedi Eylül University, Institute of Science, Bandırma, Turkey

² Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bursa, Turkey

³ Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma, Turkey

*Correspondence: h.sahin@btu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.903442

Özet: Günümüz şehir hayatında, artan nüfus ve buna bağlı olarak yaşanan yoğunluk, beraberinde trafik sıkışıklığı ve park sorununu getirmektedir. Otopark alanlarında, park yerlerinin yetersizliği, kullanışsızlığı ve hatalı park edilmeler sonucu, zaten zor olan park yeri bulma sorunu park problemlerini arttırarak çoğaltmaktadır. Bu durumda otopark haricine yapılan standart dışı ve gelişi güzel park etmeler, trafik akışını da engellemektedir. Bu çalışmada öncelikle otopark tanımı ve otopark türlerine değinilmiştir. Ardından otopark problemleri hakkında bilgi verilerek, otopark yönetiminin önemi ve yararlarına yer verilmiştir. Bu teorik bilgilerin ardından Çanakkale ilinin mevcut otopark durumu incelenip konu ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, Çanakkale'deki otopark kapasitelerinin, araç sayılarına göre oldukça yetersiz durumda olduğunu göstermektedir. Ayrıca şehrin cazibe bölgelerindeki otoparklar ise ara sokaklarda, kolay fark edilmeyecek bölgelerde, dışarıdan gelenlerin kolay ulaşabileceği bir noktada değildir. Diğer otoparklar ise yürüyerek zaman alacak bir uzaklıktadır. Bu durumda yapılabilecek mobil uygulamalar, teknolojik ekipman ve sistemler ile otoparkların haritası, kapasiteleri ve mevcut dolulukları araç sahiplerine bilgi verebilir. Bu durum karşısında yapılacak otopark yönetimi, planlaması ve yönlendirmesi sürücülerin park yeri aramak için harcadıkları zamanı, yakıtı, hava ile gürültü kirliliğini ve en önemlisi sürücü üzerinde oluşabilecek stresi en alt seviyeye indirecektir.

Anahtar Kelimeler: Otopark, otopark sorunu, otopark yönetimi, Çanakkale.

Urban Parking Analysis: Case of Canakkale

Abstract: In today's city life, the increasing population and the density experienced accordingly bring traffic congestion and parking problems with it. In the parking lots, the problem of finding a parking lot, which is already difficult, as a result of the insufficiency, uselessness and incorrect parking of parking spaces, increases the parking problems. In this case, the non-standard and random parking outside the parking lot also prevents the traffic flow. In this study, first of all, the definition of the car park and the car park types are mentioned. Then, by giving information about parking problems, the importance and benefits of parking lot management were given. After this theoretical information, the current parking situation in Çanakkale was examined and the study was concluded with the evaluations on the subject. The results obtained in the study show that parking lot capacities in Çanakkale are quite insufficient compared to the number of vehicles. In addition, the car parks in the attraction areas of the city are not easily accessible by outsiders, in areas that are not easily noticed, on side streets. Other car parks are within walking distance. In this case, mobile applications, technological equipment and systems, and the map, capacities and current occupancy of the car parks can provide information to vehicle owners. In this situation, parking lot management, planning and guidance will minimize the time spent by the drivers to search for a parking space, fuel, air and noise pollution and most importantly, stress.

Key words: Parking lot, parking lot problem, parking lot management, Çanakkale.

* Corresponding author. Tel.: 02248181089

E-mail address: hsahin@btu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-4206-2248; 0000-0002-8915-000X; 0000-0001-9564-8069

Received 25 March 2021 accepted 16 April 2021

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Günlük gereksinimler doğrultusunda, otomobiller ile insan hayatı iç içe geçmiş durumdadır. Otomobiller artık lüks olmaktan çıkıp bir ihtiyaç haline almıştır. Otomobilin var olması tek başına ihtiyacı çözmekle birlikte aracı park edebilecek bir park alanı bulabilme sorununu da beraberinde getirmektedir. Otopark olarak düşündüğümüz alanlar, sadece ev ve dükkan gibi alanlardan çıkararak bireyin aracını park edip, farklı aktivitelere katılabilmesi için aracını aktiviteye en yakın park alanına bırakabileceği alanlardır. Bu bağlamda yaşam alanlarının, iş ve ofis merkezlerinin, dinlenme ve eğlence alanlarının, gezinti ve mesire yerlerinin, alışveriş mekanları ve spor salonları gibi birçok aktivite merkezinin inşasında otopark alanının olmaması düşünülemez bir hale gelmiştir.

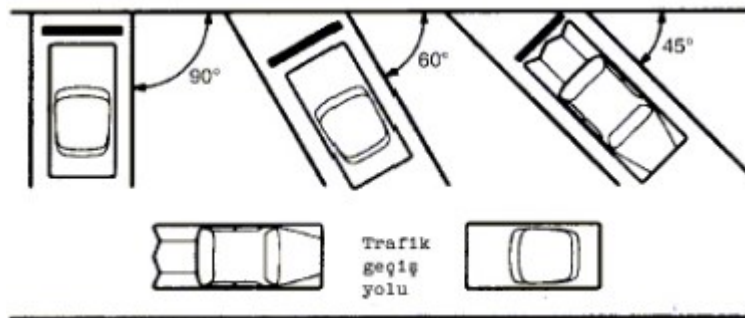
Araçlar, yirmi dört saatlik bir gün diliminin çok büyük bir kısmını park halinde geçirirken geride kalan diğer kısmını da şehir trafiğinde geçirmektedir. Günümüzde toplu taşıma ağı gelişmiş olan ülkelerde bile şehir içi ulaşımın önemli bir bölümünün halen kişisel araç ile yapıldığı görülmektedir. Sürücülerin ulaştıkları noktalarda park alanlarının belirlenmiş olması yaptıkları seyahatin kaliteli bir şekilde sonlanmasına sebep olacaktır. Bu şekilde araç sahipleri varış noktalarında mutlaka park alanı bulabilecektir. Fakat bu alanın konforu, ulaşılabilirliği, güvenilirliği, düzeni ve diğer araç sahiplerini rahatsız etmeden yapabilmeleri önem taşımaktadır. Kentlerde otopark düzenlemesi, yönetimi, denetimi ve sürekliliğinin sağlanması sayılan katkılardan dolayı yerel yönetimlerin üzerinde durduğu konular arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Bu çalışmada öncelikle otopark tanımı ve otopark türlerine değinilecektir. Ardından otopark problemleri hakkında bilgi verilerek, otopark yönetiminin önemi ve yararlarına yer verilecektir. Bu teorik bilgilerin ardından Çanakkale ilinin mevcut otopark durumu incelenip konu ile ilgili değerlendirmeler ile çalışma sonlandırılacaktır.

2. Otopark problemi ve yönetimi

Otoparklar ulaşım sisteminin temel unsurlarından birisi olup her aracın gittiği yere park edilmesi gerekmektedir. Yeterli sayıda, kolay bulunabilen, boş, ucuz, ulaşılacak yere yakın otopark yerleri sürücülerin en temel gerekliliklerini oluşturmuştur. Fakat her araç için her zaman bir otopark yeri ihtiyacını karşılamak sadece idareye mali bedel yüklemekle kalmamakta, ayrıca topluma çevresel bir sorun da oluşturmaktadır (Barhani ve Ergün, 2007).

Türk Dil Kurumu'nun sözlüğüne göre, otopark kelimesinin sözlük anlamı, "Taşıtların trafik bakımından uygun olan ve belli bir süre bırakıldıkları açık veya kapalı yer, park yeri, park" şeklinde verilmektedir [Url-6]. Park etme yerlerine göre otoparklar, yol üzeri otoparklar ve yol dışı otoparklar olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Okubay, 2008): (1) Yol üzeri otoparklar; Araçların yolun sağına park edilmesi, ya da genel olarak yol üzerine park edilmesiyle, varılacak yere yakınlık ve erişilebilirlik açısından en rahat park etme yöntemidir. Yolun nispeten dar olduğu durumlarda yol kenarına, paralel park yapılmaktadır. Eğer yeterince yer var ve manevra alanı mevcutsa park açıları 30, 45, 60, 90 derece şeklinde olabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Yol üzeri otoparklar (Kaynak: Okubay, 2008)

(2) Yol dışı otoparklar; Hareket halindeki araçların cadde ve sokaklardan ayrı bir alanda park edebilmesi için ayrılmış alanlardır. Yol dışı park etme ikiye ayrılmaktadır: (a) Açık alan parkları (zemin tesisleri), (b) Katlı otoparklardır. Katlı otoparklar; rampalı, yer altı ve mekanik sistemli otoparklar olarak üç farklı sınıfta incelenmektedir.

2.1. Otopark problemi

Otopark problemi, “taşıt sürücülerinin, kent içi ulaşım sisteminde, park yeri ihtiyacının karşılanamaması sonucu ortaya çıkan sirkülasyon problemi ve doğurduğu olumsuz etkileri” olarak tanımlanabilir (Yardım, Korkmaz ve Yılmaz, 2006). Kentlerde artan araç sayısı ile orantılı olarak sürücülerin park yeri bulamamaları sonucu ortaya çıkan araç sirkülasyonu problemi ve bunun sonucu olumsuz etkilerin tümü otopark problem olarak bilinmektedir (Can ve Ilıcalı, 2019). Otopark probleminin ilk bakışta dikkati çeken ana kaynağı, sürücülerin park yeri bulamamaları gibi görünmekle birlikte burada bir kısır döngü de söz konusudur (Yardım ve Ağrikli, 2005). Bu noktadan hareketle, otopark problemi; araç sürücülerinin, kent içi ulaşımında, park yeri bulamamaları sonucu ortaya çıkan sirkülasyon problemi ve doğurduğu olumsuz etkiler şeklinde özetlenebilir.

Ayrıca otopark problemi, (Okubay, 2008); sürücülere göre “park ve ücretlendirme ile ilgili eksik bilgi ve ayrıca farklı ücretlendirme yöntemleri veya yanlış otopark tasarımları”, bölge sakinlerine göre “kent içi trafik problem yanında otoparkların çevreyi estetik açıdan tasarlanamama kaygısı”, yerel yönetimlere göre “sürücüler, kentte yaşayanlar, ziyaretçiler, çalışanlar gibi farklı gruplar arasındaki anlaşmazlıkların çözülememesi”, müteahhitlere göre “planlama aşamasında iken inşaatlarda otoparkların finansal açıdan büyük yük getirmesi ve yüksek düzeyde otopark vergileri olması” şeklinde tanımlanabilir.

Ayrıca park tıkanıklığı, taşma (fazlalık), geliştirme maliyetleri, trafik tıkanıklığı, eşitsizlik, vergilendirme, çevresel etkiler, gelişigüzel yayılma bazı otopark problemleri olarak bilinmektedir (Okubay, 2008).

Tipik bir otomobil her gün 23 saat park edilir ve her hafta birkaç park yeri kullanmaktadır. Park tesisleri, bir ulaşım sisteminin önemli bir bileşeni olarak görülmektedir. Ayrıca,

sürücülerin araçlarına harcadıkları her dolar için, işverenler, yerel yönetimler, işletmeler, vb. park etmek için bir dolardan fazla harcadığı için maliyetlidirler. Otopark sorunları, tasarımcıların, operatörlerin, planlamacıların ve diğer yetkililerin karşılaştığı en yaygın sorunlar arasında yer almaktadır. Böyle sorunlar genellikle tedarik/arz açısından tanımlanabileceği gibi (çok az yer mevcuttur, biri daha fazlasını inşa etmeli) yönetim açısından (mevcut tesisler kullanılır verimsiz ve daha iyi yönetilmelidir) da tanımlanabilir (Litman, 2020).

Ulvi ve Akdemir (2019), Türkiye’de otopark planlama ve yönetimi üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Ağaoğlu ve Başdemir (2019), şehir içi ulaşım sorunları belirlemiş ve çözüm önerileri geliştirmişlerdir. Murat ve Şahin (2010), dünden bugüne İstanbul’da ulaşım çalışmalarında ulaşım ile ilgili değerlendirme yapmışlardır. Gülhan ve Ceylan (2010), İzmir’de otopark sorununa otopark yönetimi temelinde yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Haldenbilen ve ark. (1999), Denizli kent merkezindeki mevcut yoldışı otoparkları araştırmış, kapasiteleri ve doluluk oranlarını belirlemişlerdir. Ayrıca otopark ihtiyacı ile ilgili geleceğe yönelik tahminler yaparak öneriler getirmişlerdir.

Yetişkul ve Şenbil, (2018), otomobil sayısındaki artışın metropoliten alanda ortaya çıkardığı otopark alan ihtiyacına yönelik bir çalışma hazırlamışlardır. Mazlum ve ark. (2019), otopark problemlerinin Erzincan kent merkezi bazında etüdü ve çözümsel yaklaşımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Şenbil ve Yetişkul (2016), otopark alanlarının kentsel yapı ile etkileşim içinde geliştiğini, hızlı kentleşen ve arabalaşan İstanbul iline odaklanarak göstermişlerdir. Kamu alanı olan sokakların özel araç serbest otopark alanları olarak kullanımının başlıca parklanma türü olan kentlerde parklanma davranışlarını analiz etmek ve kentsel ulaşım ile ilişkin parklanma politikalarını geliştirmeye çalışmışlardır. Dönmez ve ark. (2016), Safranbolu Çarşısı Bölgesi’ndeki otopark sorununu analizi ederek alternatif çözüm yolları geliştirmişlerdir. Yan ve ark. (2019), park etme politikalarının park talebi baskısını ve araç kullanımını azaltmadaki etkinliğini incelemişlerdir. Yıldırım ve Tektaş, (2018), Bandırma ilçesinin en önemli sorunlarından olan otopark konusu ele alınmıştır. Atalay ve İçen (2020), ülkemizin

gelişmekte olan kentlerinden Elâzığ ili kentiçi ulaşım sorunlarından otopark sorunu ele almışlardır. Erdir (2013) öncelikle İzmir'in kentsel lojistik açısından analizini yapmış ve daha sonra kent içerisinde gerçekleştirilen lojistik operasyonlarda karşılaşılan sorunları ve çözüm önerilerini açıklamıştır.

2.2. Otopark yönetimi

Otopark yönetimi, otoparka dair kaynakların daha etkin ve verimli kullanımını sağlayan politikalar ve programlardır. Otopark yönetimi, bazı iktisadi, sosyal, kültürel ve çevresel kazanımlar sağlamakta ve gerekli olan otopark adedini önemli şekilde azaltmaktadır (Barhani ve Ergün, 2007). Araçların istediği yerde istediği şekilde park yapabilmesine imkan sağlayan otopark yönetim sistemleri en çok tercih edilen sistemlerdir. Bu durum ek tesis yapmak ve yeni park yerleri açmak gibi alternatifler mekan yetersizliği veya yüksek maliyetler bazı sebepler nedeniyle her zaman mümkün olamamaktadır. Sadece bu tarz kullanıma yönelik durumlar için değil aynı zamanda mevcut kaynakların gereksiz yere harcanmasını önlemek için de otopark yönetimi tercih edilen bir sistemdir (Gülhan ve Ceylan, 2010).

Otopark yönetimi, park olanaklarının daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayan çeşitli politikalar ve programlara dayanmaktadır. Otopark yönetimi gerektiği şekilde uygulamaya aktarıldığında, belirli birtakım durumlardaki park alanı gereksinimini büyük oranda azaltarak, önemli oranda iktisadi, toplumsal ve çevresel yarar sağlamayı amaçlamaktadır. Tüm bu etkiler göz önüne alınacak olursa, gelişmiş yönetim ilkeleri, çoğunlukla otopark problemleri için en güzel çözüm yolu olmaktadır (Okubay, 2008). Otopark yönetimi, otoparkın daha verimli kullanılmasını sağlayan bir takım politika ve programları ifade etmekte ve aşağıda sıralanan on temel ilke ile açıklanmaktadır (Litman, 2006):

1. Tüketici seçimi: İnsanlar uygun park ve seyahat seçeneklerine sahip olmalıdır.
2. Kullanıcı bilgileri: Sürücüler, park etme ve seyahat seçenekleri hakkında bilgi sahibi olmalıdır.
3. Paylaşım: Park tesisleri birden fazla kullanıcıya ve varış noktasına hizmet etmelidir.

4. Verimli kullanım: Park tesisleri, alanların sık sık işgal edilmesi için boyutlandırılmalı ve yönetilmelidir.

5. Esneklik: Park planları belirsizliği ve değişikliği karşılayabilmelidir.

6. Önceliklendirme: En çok arzu edilen alanlar, daha yüksek öncelikli kullanımları destekleyecek şekilde yönetilmelidir.

7. Fiyatlandırma: Kullanıcılar, kullandıkları park tesisleri için mümkün olduğunca doğrudan ödeme yapmalıdır.

8. Pik yönetimi: Yoğun taleple başa çıkmak için özel çaba gösterilmelidir.

9. Nitelik ve miktar: Park tesisi kalitesi, estetik, güvenlik, erişilebilirlik ve kullanıcı bilgileri miktar kadar önemli görülmelidir.

10. Kapsamlı analiz: Park planlamasında tüm önemli maliyetler ve faydalar dikkate alınmalıdır.

Otopark yönetimi, modelleme ve akıllı kentler ile ilgili olarak literatürde yapılmış çalışmalar vardır. Bunlardan bazıları verilmiştir. Önder ve Akdemir (2019), Türkiye'de son on yılda büyük ve orta ölçekli kentlerde yapılan ulaşım ana planları kapsamında mevcut ve öneri raylı sistem senaryolarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Önder ve Kaplan (2017), Ankara'da park et-devam et sisteminin modellenmesi ile yolculuk değişimine bağlı emisyon değerlerini ölçmeye çalışmışlardır. Nourinejad ve ark. (2018), otonom araçlar için park tesisleri tasarlamışlardır. Molan ve Simićević, (2018), kentsel park yönetimi politikalarından park-ve-sürtüş sistemi önerisi geliştirmişlerdir. Bingöl ve ark. (2010), eğitim amaçlı üç katlı üç sıralı toplam dokuz araç kapasitesine sahip otomatik otopark sistem prototipi tasarlamışlardır. Young ve ark. (1991), şehir içi otopark modellerine genel değerlendirme yapmışlardır. Kizilkaya ve ark. (2018), kullanıcıların küçük bir alanda veya şehirde ücretsiz bir park yerine kolayca ulaşmalarına yardımcı olan hiyerarşik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bilici ve Babahanoğlu (2018), akıllı kent, akıllı vatandaş kavramı bağlamında akıllı kent uygulamalarını ele almışlardır. Mazlum ve Bayata (2018), yapılması planlanan otopark için, konum seçimi, etüdünü zenginleştirilecek etkili; yerinde ve doğru kararlar alınabilmesini sağlayacak verileri Erzincan ili şehir merkezindeki 44 ayrı

noktadan toplamışlar ve ay, gün, saat, bölge, park sayısı başlıkları altında incelenip analiz etmişlerdir.

3. Çanakkale ili şehir merkezi otopark analizi

Çanakkale, “Türkiye'nin kuzeybatısında Avrupa ve Asya kıtalarını birbirinden ayıran ve kendi adını taşıyan Boğaz'ın her iki yakasında

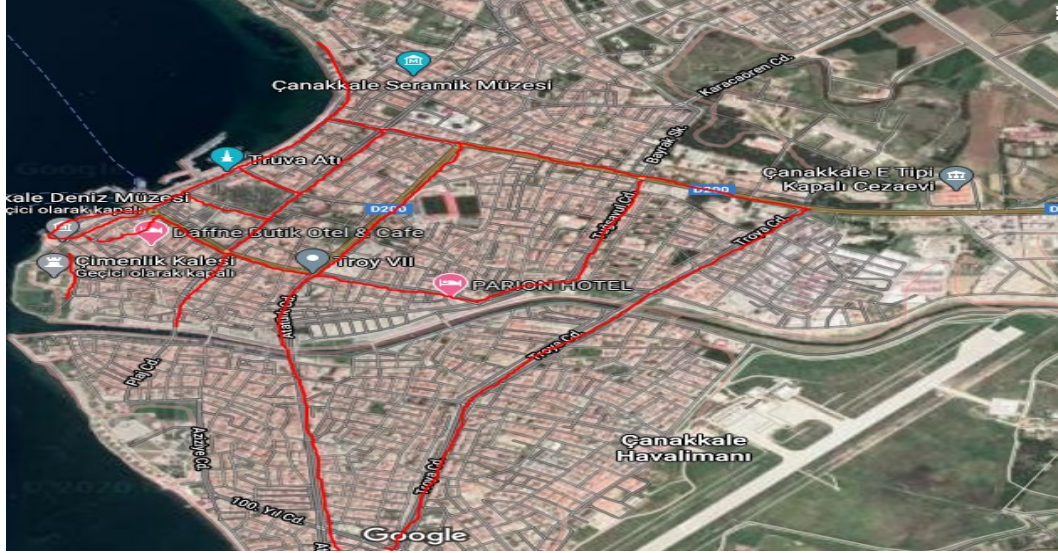
kurulmuş bir şehir”dir [Url-2]. Türkiye ortalamasına göre şehirleşmesi daha düzgün, nüfusu daha düşüktür. Çanakkale'nin nüfusunun 2020 yılı sonu itibari ile yaklaşık 542 bin civarındadır. Nüfus yoğunluğunun, kilometre kare başına düşen kişi sayısı 54'tür. Çanakkale, toplam nüfus büyüklüğüne göre de diğer şehirler sıralamasında 39. sırada yer almaktadır [Url-5].

Tablo 1. Yıllara göre çanakkale ili nüfus bilgileri

Yıl	Çanakkale Nüfusu	Erkek Nüfusu	Kadın Nüfusu
2011	486.445	249.088	237.357
2012	493.691	250.633	243.058
2013	502.328	254.800	247.528
2014	511.790	259.655	252.135
2015	513.341	259.721	253.620
2016	519.793	262.288	257.505
2017	530.417	269.160	261.257
2018	540.662	273.092	267.570
2019	542.157	272.097	270.060
2020	541.548	271.456	270.092

Tabloda da görüldüğü üzere Çanakkale nüfusu 2011 yılında 486 bin civarında iken 2020 yılına geldiğimizde nüfusun yaklaşık 541 bin rakamına geldiği gözlenmektedir. Artış oranını incelediğimizde ise son on yıllık süreçte yaklaşık olarak %11'lik bir artışa tanıklık etmekteyiz. Çanakkale şehir topraklarının iki kıtada olması sebebiyle ulaşımın kolay sağlandığı bir geçiş noktasıdır. Çanakkale ile ilçeleri doğal ve tarihi güzellikler açısından oldukça zengin olmasına karşın, şehir beklenenden daha az sayıda turist çekmektedir. Şehir merkezinin hemen hemen her noktası sit alanı ilan edildiğinden şehrin beklenen büyümeyi gerçekleştirmediği görülmektedir. “İl ekonomisinde tarım en önemli faaliyet olmakla beraber son yıllarda tarıma dayalı sanayi kolları gelişme göstermekte ve buna bağlı olarak ekonomide sanayinin payı artmaktadır” [Url-3]. Çanakkale il merkezinde bulunan Çanakkale savaşı eserleri, tabyalar, Nusret mayın gemisi, kaleler ve bunların sergilendiği müzeler, Truva kalıntıları ile Aynalı Çarşı gibi tarihi gezi noktaları, her dönem yerli ve yabancı turistlerin uğrak

noktalarıdır. Şehitlik için geçiş noktası olan arabalı vapur iskelesinin aynı zamanda Avrupa ile Asya'nın bağlantı yeri konumunda olması birçok taşıtı şehir merkezinde toplamaktadır. Özellikle tatil dönemleri (resmi ve dini bayram), “18 Mart Şehitleri Anma Günü ve Çanakkale Deniz Zaferi” gibi özel günler ve yaz aylarında şehrin nüfusunun olağan dışı arttığı gözlemlenmektedir. Bu nüfus yoğunluğu, beraberinde araçlarını da şehre taşıdığı için, otopark alanlarının kapasitesinin talebi karşılamamasına neden olmaktadır. Şehir merkezi, Kaz Dağlarında doğan ve Çanakkale Boğazına dökülen Sarı Çay tarafından ikiye bölünmektedir. Bu iki yaka ise taşıt trafiğine açılmış olan 3 köprü ile birbirine bağlanmaktadır. Şehir birbirine paralel beş ana arter ve bunları dikey olarak kesen iki ana arterden oluşmaktadır. Toplu ulaşım olarak şehirde belediye ve özel halk otobüsleri kullanılmaktadır. Bu sebeptendir ki şehir içi ulaşımında otomobil kullanımı oldukça fazladır. Ulaşımında otomobilin bu derece yoğun kullanımı otopark sorununu kaçınılmaz bir hale getirmektedir.



Şekil 1. Çanakkale ili ana arterleri

Çanakkale’de trafiğe kayıtlı araç sayısı 2020 Ağustos ayı sonu itibarıyla 236.963 olduğu bilinmektedir. Ayrıca Çanakkale’de trafiğe kayıtlı 236.963 taşıtın %39,6’sını otomobil, %1,1’ini minibüs, %0,8’ini otobüs, %14,5’ini

kamyonet, %2,5’ini kamyon, %26,7’sini motosiklet, %0,3’ünü özel amaçlı taşıtlar ve %14,6’sını ise traktörler oluşturmaktadır [Ur-4].

Tablo 2. Yıllara Göre Çanakkale İli Taşıtlar Sayıları

Yıllar	Araç Sayısı
2011	157.312
2012	167.198
2013	174.991
2014	184.383
2015	197.297
2016	210.245
2017	222.374
2018	228.830
2019	231.148
2020	238.505

Tabloda da görüldüğü üzere Çanakkale ilinde kayıtlı araç sayısı 2011 yılında 157 bin civarında iken 2019 yılına geldiğimizde bu sayının 231 bin rakamını aştığını görmekteyiz.

Artış oranını incelediğimizde ise son on yıllık süreçte yaklaşık olarak yüzde 47’lik bir artışa tanıklık etmekteyiz.

Tablo 3. Yıllara göre Çanakkale ili nüfus ve araç sayısı artış hızı (%)

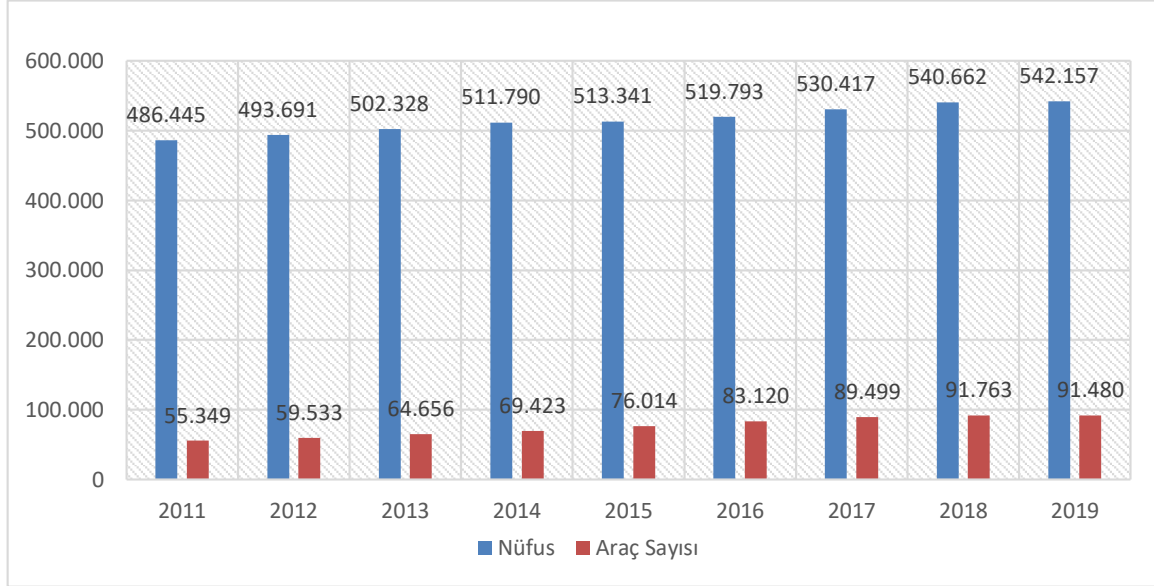
Yıl	Nüfus Artış Hızı (%)	Araç Artış Hızı (%)
2011	1,82	7,59
2012	1,49	6,28
2013	1,74	4,66
2014	1,88	5,36
2015	0,30	7,00
2016	1,24	6,56

Tablo 3 (devamı). Yıllara göre Çanakkale ili nüfus ve araç sayısı artış hızı (%)

2017	2,04	5,76
2018	1,93	2,90
2019	0,28	1,01
2020	-0,11	3,18

Yukarıdaki tabloya göre nüfus artışını incelediğimizde yıllara göre dengesiz bir artış oranına tanıklık etmekteyiz. 2015 ve 2019 yıllarında yüzde 0,30 ve 0,27'lik artış ile son on yılın en az artışı gerçekleşmiştir. 2017 yılında

ise artış hızı yüzde 2'nin üzerine çıkarak en yüksek nüfus artışı gözlemlenmiştir. Bu durum sayısal değerler olarak incelendiğinde şekil 1'de daha net görülmektedir.

**Şekil 2.** Yıllara Göre Çanakkale İli Nüfus ve Araç Sahipliği

Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi, yıllar içinde artan araç ve nüfus sayısı paralelinde kişi başına düşen araç sayısının da arttırmaktadır. Yıllar içinde düzenli olarak arttığı görülen bin kişiye düşen araç sayısı; 2020 yılına geldiğimizde 440 rakamına ulaşmıştır. İlerleyen birkaç yıl içerisinde bin kişiden beş yüzünün araç sahibi olacağı öngörülmektedir.

Çanakkale şehir merkezinde belediye kayıtlarına geçmiş olan altı mahalle bünyesinde

6 adedi Belediye ve derneklerin sorumluluğunda, 23 adedi de şahıs veya kurum sorumluluğunda olan toplamda 2.962 araç kapasiteli ve 27.455 m2 alana sahip olan toplam 29 adet otopark mevcuttur. Çanakkale il merkezinde otopark sıkıntısı olmasına rağmen yol kenarı otoparkına müsaade edilmemiş olup Belediye, Dernek sorumluluğunda olan bir adet yol kenarı otopark mevcuttur.

Tablo 4. Yıllara göre 1000 kişiye düşen araç sayısı

Yıl	Nüfus	Araç Sayısı	1000 Kişiye Düşen Araç Sayısı
2011	486.445	157.312	323
2012	493.691	167.198	338
2013	502.328	174.991	348
2014	511.790	184.383	360
2015	513.341	197.297	384
2016	519.793	210.245	404
2017	530.417	222.374	419
2018	540.662	228.830	423

Tablo 4 (devamı). Yıllara göre 1000 kişiye düşen araç sayısı

2019	542.157	231.148	426
2020	541.548	238.505	440

Tablo 5. Mevcut otopark alanları ve kapasiteleri

No	Otopark Sorumlulukları	Kapasite	m ²
1		50	300
2		100	-
3		250	-
4	Belediye, Dernek Sorumluluğu	300	4500
5		350	12000
6		1200	-
7		10	65
8		10	110
9		10	130
10		15	70
11		15	300
12		15	350
13		20	350
14		20	450
15		22	300
16		10	300
17		11	350
18	Şahıs veya Kurum Sorumluluğu	12	400
19		13	550
20		14	600
21		15	580
22		16	800
23		17	380
24		18	400
25		19	570
26		20	800
27		21	800
28		22	1200
29		23	800
Toplam		2962	27455

Tabloya ait veriler Çanakkale Belediyesi Zabıta Müdürlüğü veri tabanından alınmış olup kişisel verilerin korunumu gereği şahıs isimleri ve otopark adres bilgileri gizli tutulmuştur. Tablodan da görüldüğü gibi 29 farklı otopark alanı için toplam araç kapasitesi 2962 iken toplam m² olarak 27455'tir.

4. Değerlendirme ve sonuç

Dünya'da otomobillerin seri üretime geçildiği ve kullanılmaya başlanıldığı dönemden itibaren günümüzde otomobil sayısında ciddi artışlar olmuştur. Dünya'da kişi başına düşen araç sayısının artması sonucu otopark problemi ortaya çıkmıştır. Otopark problemi sürücülerin

kent içi ulaşım sisteminde park yeri ihtiyacının karşılanamaması sonucunda ortaya çıkan sirkülasyon problemi ve doğurduğu olumsuz etkiler olarak bilinmektedir. Gün geçtikçe bu problemlere çözüm için ciddi yaptırımlar uygulanmış ve yeni projelerle çözümler aranmaya çalışılmıştır.

Çanakkale trafik tesciline kayıtlı araç sayısının 2016 yılından itibaren 200 bin barajını aştığı, bununla birlikte her geçen yıl kayıtlı araç sayısının da düzenli olarak artarak günümüzde 240 bin seviyesini zorladığı gözlenmektedir. Çanakkale ili tesciline kayıtlı olmayan, çevre ilçelerden ziyarete gelen ve transit geçiş yapan

araçlarında trafikte yer alacağını düşünürsek Çanakkale ili trafiğindeki araç sayısının kat be kat arttığı bilinmektedir. Özellikle şehrin turist kabul ettiği dönemlerde ve özel günlerde bu araçların şehir trafiğinde yaratacağı yoğunluk ve park alanlarının kısıtlı olması beraberinde büyük sorunlar da getirmektedir.

Şehir merkezindeki cazibe bölgelerinin çokluğu, şehir dışından gelen misafirlerin ziyaret edeceği yerlerin birbirine yakın mesafede oluşu, çevre ilçelerden şehir merkezine gelen yerel halkın kamu dairelerindeki işlerini veya özel işlerini halledebilecekleri iş yerlerinin toplu olarak iş merkezlerinde olması, araç sahiplerini yürüme mesafesindeki otoparklara yönlendirmektedir. Şehrin yapısında da bahsedildiği gibi il merkezinin hemen hemen her noktası sit alanı ilan edildiği için yeni otopark alanlarının inşası mümkün gözükmemektedir. İzin alınabilen uygun alanların inşası ise otopark yerine iş merkezi olarak değerlendirilmektedir. Şehrin coğrafi konumu, deniz seviyesinde olduğundan dolayı inşaat temelinde çok fazla su ile karşılaşıldığı için yer altı otoparklarının inşasına imkân vermemektedir.

Çanakkale'deki otopark kapasiteleri, araç sayılarına göre oldukça yetersiz durumdadır. Şehrin cazibe bölgelerindeki otoparklar ise ara sokaklarda, kolay fark edilmeyecek bölgelerde, özellikle de şehir dışından gelenlerin kolay ulaşamayacakları noktalardadır. Diğer otoparklar ise cazibe merkezlerine oldukça fazla yürüme mesafesi bulunan noktalara konumlandırılmıştır.

Çanakkale ilinde yapılabilecek mobil uygulamalar, teknolojik ekipman ve sistemler ile otoparkların haritası, kapasiteleri ve mevcut dolulukları araç sahiplerine bilgi verebilir. Bu durum karşısında yapılacak otopark yönetimi, planlaması ve yönlendirmesi sürücülerin park yeri aramak için harcadıkları zamanı, yakıtı, hava ile gürültü kirliliğini ve en önemlisi sürücü ve yolcuların stresini en alt seviyeye indirecektir. Park yeri ararken oluşan uzun araç kuyrukları azalırken, mevcut otopark kapasiteleri daha verimli kullanılabilir hale gelecektir. Kolaylıkla park yeri bulan sürücüler park yeri bulma stresinden ve endişesinden uzaklaştıkları için sürücülerin trafikte hata yapma ihtimalleri düşecek, kaza yapma olasılıkları da azalacaktır.

Çanakkale gibi gelişmekte olan illerimizde belirlenecek ulaşım politikaları ile gelecekte yaşanacak problemler önlenabilir. Ayrıca yerleşim yerlerinde doğru trafik tahmini için arazi kullanım planları ve ulaşım planları hazırlanırken resmi kurum ve kuruluşların, iş ve alışveriş merkezlerinin konumlandırılacağı yerler gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Ayrıca otopark planlamaları yapılırken özel araç kullanımından ziyade bütünsel bir toplu taşıma sistemine uygun şekilde planlanmalıdır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Ağaoğlu, M. N., & Başdemir, H. (2019). Şehir İçi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 8(1), 27-36.

Atalay, A., & İçen, Y. (2020). Kentiçi Otopark Analizi: Elazığ İli Örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(2), 403-413.

Barhani, E., & Ergün, G. (2007). Sürdürebilir Ulaşım Uyumlu Otopark Yönetim Stratejileri: İstanbul Uygulaması, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3126.pdf>, (Erişim Tarihi: 26.10.2020).

Bilici, Z., & Babahanoğlu, V. (2018). Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 9(2), 124-139.

Bingöl, O , Aydoğan, T , Didin, H , Yalçiner, A, Duygulu, K . (2010). Plc Kontrollü Otomatik Katli Otopark Sistemi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2 (1), 65-76.

Can, M., & Hıcalı, M. (2019). Türkiye'de ileri otopark sistemleri İzmir Alsancak otopark uygulama örneği ve öneriler sunulması. *Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 2(1), 23-35

Dönmez, Y., Cabuk, S., Öztürk, M., & Gökyer, E. (2016). Safranbolu Kentsel Sit Alanında Otopark Sorunu Ve Çözüm

Alternatifleri. Journal of Bartın Faculty of Forestry, 18(2), 137-145.

Erdir, A. (2013). Kentsel lojistik: İzmir ili için bir uygulama, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir

Gülhan, G., & Ceylan, H. (2010). Otopark Sorununa Otopark Yönetimi Temelinde Yaklaşımlar: İzmir Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 12(1), 63-73.

Haldenbilen, S., Murat, Y. Ş., Baykan, N., & Meriç, N. (1999). Kentlerde Otopark Sorunu: Denizli Örneği. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 1099-1108.

Kizilkaya, B., Caglar, M., Al-Turjman, F., & Ever, E. (2018). An intelligent car park management system: Hierarchical placement algorithm based on nearest location. In 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), s. 597-602, IEEE.

Litman, T. (2020). Parking Management Comprehensive Implementation Guide, Victoria Transport Policy Institute, https://www.vtpi.org/park_man_comp.pdf, (Erişim Tarihi: 26.10.2020).

Litman, T. (2006). Parking Management Strategies, Evaluation and Planning, Victoria Transport Policy Institute, https://www.vtpi.org/park_man.pdf, (Erişim Tarihi: 02.11.2020)

Mazlum, Y., & Bayata, H. (2018). Otopark Etütlerinin Farklı İstatistiksel Yöntemler İle Analizi ve CBS ile Modellenmesi (Erzincan İli Örneği). Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Sempozyumu (pp.149-159). Afyon, Turkey

Mazlum, Y., Bayata, H., Bayrak, O., & Pehlivan, H. (2019). Otopark Problemlerinin Kent Merkezi Bazında Etüdü ve Çözümsel Yaklaşımı (Erzincan İli Örneği). Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi (pp.115-126). Mardin, Turkey

Molan, V., & Simićević, J. (2018). Park-And-Ride System: Urban Parking Management Policy. International Journal for Traffic & Transport Engineering, 8(4), 426-445

Murat, S., & Şahin, L. (2010). Düünden bugüne İstanbul'da ulaşım. İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.

Nourinejad, M., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. Transportation Research Part B: Methodological, 109-127.

Okubay, M. (2008). Bölgesel Otopark Yönetimi Ve Stratejileri: Tarihi Yarımada - Eminönü Bölgesi Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Otopark Yönetmeliği (2018). 30340 Sayılı ve 22 Şubat 2018 Tarihli Resmi Gazete'de Yayınlanan Otopark Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete.

Önder, H, Kaplan, H. (2017). Ankara'da Park Et-Devam Et Sisteminin Modellenmesi İle Yolculuk Değişimine Bağlı Emisyon Azaltımının Ölçülmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 5(1), 139-152.

Önder, H.G, Akdemir, F. (2019). Türkiye'deki Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinin Ulaşım Ana Planları Bağlamında Değerlendirilmesi, Demiryolu Mühendisliği, 2019(10), 23-37.

Özdirim, M. (1994). Trafik Mühendisliği 1-2. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Türkiye.

Şenbil, M & Yetişkul, E . (2016). İstanbul için Gece Parklanma Davranışları Modellemesi. Teknik Dergi, 27(3), 7515-7532.

Ulaşım Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (2019). 30762 Sayılı ve 2 Mayıs 2019 Tarihli Resmi Gazete'de Yayınlanan Otopark Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete.

Ulvi, H. & Akdemir, F. (2019). Türkiye'de Otopark Planlama ve Yönetimi Üzerine Bir Değerlendirme. Artium, 7(2), 147-154.

Url-1<<http://www.sozluk.gov.tr>> (Erişim Tarihi: 02.11.2020).

Url-2< <http://www.canakkaletso.org.tr> > (Erişim Tarihi: 02.11.2020).

Url-3< <https://www.canakkale.bel.tr/tr/sayfa/1126-ekonomik-yapi> > (Erişim Tarihi: 06.11.2020).

Url-4<

<https://www.canakkalekalem.com/canakkalede-236-bin-963-arac-var/>> (Erişim Tarihi: 06.11.2020).

Url-5< <https://www.nufusu.com/il/canakkale-nufusu>> (Erişim Tarihi: 04.11.2020).

Url-6< www.sozluk.gov.tr> (Erişim Tarihi: 04.11.2020).

Yan, X., Levine, J., & Marans, R. (2019). The effectiveness of parking policies to reduce parking demand pressure and car use. *Transport Policy*, 73, 41-50.

Yardım, M.S. ve Ağrikli, M., (2005). Otomatik Otoparklar ve Türkiye'deki Otopark Probleminin Çözümü İçin Uygulama Potansiyeli, 6.Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 23-25 Mayıs 2005, İstanbul.

Yardım, M.S., Korkmaz, R.B. ve Yılmaz, D. (2006). Sürdürülebilir Ulaştırma Politikaları Açısından Otopark Stratejileri, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, ACE-2006, Yıldız Technical University, October 11-13 2006, İstanbul.

Yetişkul, E., & Şenbil, M. (2018). Ankara'da Otopark Sorunu ve Çözüm Önerileri. *Megaron*, 13(2), 250-262

Yıldırım, A., & Tektaş, M. (2018). Otopark Yönetim Sistemi: Bandırma Örneği, BANU-ITSC'18 1. Uluslararası AUS Konferansı 19-21 Nisan 2018, 350-365

Young, W., Thompson, R. G., & Taylor, M. A. (1991). A review of urban car parking models. *Transport reviews*, 11(1), 63-84.

Araştırma makalesi

Türkiye’de Bölgesel Havayolları için Uçak Tipi Seçimi: Küresel Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu

Kübra Kocakaya¹, Taylan Engin², Mehmet Tektaş³, Umut Aydın⁴

¹Intelligent Transportation Systems, Institute of Science, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

^{2,3,4}Intelligent Transportation systems, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: kubra.kocakaya@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.903996

Özet: Havacılık operasyonları düzenlenirken, zaman içinde uçaklarda yaşanan yapısal değişimler özellikle motor yapısında kendini göstermiş ve jet motorlu uçaklar kullanıma girmiştir. Bu gelişimle birlikte Avrupa ve Amerika’da etkinliği artan bölgesel havacılık; turboprop veya jet motorlu nispeten daha küçük kapasiteli uçaklarla büyük havayollarının operasyon düzenlemediği küçük noktalar arasında veya büyük merkezler ile küçük bölgeler arasında düzenlenen havacılık operasyonudur. Bölgesel havacılık Türkiye’de, faaliyet gösteren tek havayolu şirketi olan Borajet’in operasyonlarını durdurması ile etkinliğini kaybetmiştir. Bu nedenle araştırmada, Türkiye’de kurulacak bölgesel havacılık operasyonlarında kullanılabilecek uçak modelleri arasında seçim yapmak amaçlanmaktadır. Borajet’in kullandığı turboprop motorlu uçakların yolcular tarafından emniyetsiz bulunması göz önüne alınarak sadece turbojet motorlu uçaklar çalışmaya dahil edilmiştir. Uçak seçiminde etkili olan maliyet, teknik özellikler ve emniyet ana kriterleri altında tanımlı 10 alt kriterin değerlendirilmesi ile 9 alternatif uçak modellerinin seçimi yapılmaktadır. Belirlenen uçak modelleri arasındaki sıralama, bulanık kümelerle yeni bir bakış olan Küresel Bulanık Kümelerin karar verme yöntemlerine uygulanması ile sağlanmıştır. Bu kapsamda, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) metodunun küresel kümelerle entegrasyonu ile uçak seçim kriterlerine dair ağırlıklar elde edilmiştir. Alternatiflere ait sıralama İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralaması (TOPSIS) metodunun küresel kümelerle entegrasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, yöntemde tanımlanan iki ortalamanın sıralamasını karşılaştırılmak amacıyla Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (SWAM) kullanılmış ve bu ortalama ile en iyi alternatif uçak Bombardier CRJ-100/200 olarak saptanmıştır. Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama (SWGGM) operatörü ile Embraer ERJ-135, bölgesel havacılık adına en uygun uçak modeli olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçak seçim, bölgesel havacılık, küresel bulanık AHP, küresel bulanık TOPSIS

Aircraft Selection for Regional Airlines in Turkey: An Integration of Spherical Fuzzy AHP-TOPSIS Methods

Abstract: While organizing aviation operations, structural changes experienced in aircraft over time have manifested themselves especially in the engine structure and jet engine aircraft have come into use. Regional aviation, which has increased efficiency in Europe and America with this development, is an aviation operation organized with turboprop or jet-powered aircraft relatively smaller capacity and between small points where large airlines do not operate or between large centers and small regions. Regional aviation lost its effectiveness when Borajet, the only airline company operating, ceased its operations in Turkey. Therefore, the research is intended to be used to choose between models of aircraft in the regional aviation operations will be established in Turkey. Considering the reasons why the turboprop engine planes used by Borajet are found unsafe by the passengers only turbojet engine aircrafts were included in the study. 9 alternative aircraft models are selected with 10 sub-criteria defined under the main criteria of cost, technical features and safety that are effective in aircraft selection. The ranking among the determined plane models was achieved by applying Spherical Fuzzy Sets, which is a new look to fuzzy sets, to decision making methods. In this context, weights for aircraft selection criteria were obtained by integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) method into spherical sets.

The ranking of the alternatives was carried out by integrating the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method into spherical sets. In the study, Spherical Weighted Arithmetic Mean (SWAM) was used to compare the order of the two averages defined in the method, and with this average the best alternative aircraft Bombardier CRJ-100/200 was determined. With the Spherical Weighted Geometric Mean (SWGGM) operator, the Embraer ERJ-135 has been determined as the most suitable aircraft model for regional aviation.

Key words: Aircraft selection, regional aviation, spherical fuzzy AHP, spherical fuzzy TOPSIS

* Corresponding author;

E-mail address: kubra.kocakaya@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9800-6838; 0000-0001-6981-0683; 0000-0001-9564-8069; 0000-0003-4802-8793 (in hierarchical order)

Received 26 March 2021; accepted 14 April 2021

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Diğer ulaşım sistemleri arasında havayolu ulaşımı, her geçen gün artan talebiyle ulaşım pazarında büyük bir hisseye sahiptir. Özellikle 1978 yılında ABD’de çıkarılan Havayolu Serbestleşme Yasası (Airline Deregulation Act) ile havacılıkta özel sektöre yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Bu yasa çoğu özel havayolu şirketinin sektöre girmesine ve kısa zamanda sektörde egemen hale gelmesine neden olmuştur. Türkiye açısından serbestleşme tam anlamıyla 1983 yılında çıkarılan sivil havacılık kanunu ile yasalaştırılmıştır. İlk olarak 2003’te Fly Havayolları ile başlayan özel sektörün iç hatlarda yolcu taşımacılığını, Onur Air Taşımacılık, Atlasjet Havayolları ve Pegasus Havayolları takip etmiştir. Dünya’ya yayılan bu sektörel hareket, havacılık operasyonlarına da farklılıklar getirmiştir. Bu kavramlardan biri olan “Bölgesel hava taşımacılığı, küçük yerleşim merkezleriyle, büyük şehirler ve büyük toplanma merkezleri arasında 9-68 koltuklu turboprop ve 30-100 koltuklu bölgesel jetlerle kısa ve orta mesafeli tarifeli uçuşlar” olarak tanımlanmaktadır (RAA, 2012; Sarılgan, 2007). Bu türden taşıma yapan havayolu şirketleri ise bölgesel havayolu şirketi olarak tanımlanmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü olan ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından, genellikle iç hatlarda büyük havalimanlarında ana hava taşıma hizmetini üstlenen veya uluslararası hava taşımacılığı yapan, yıllık operasyon gelirleri 1 milyar dolardan fazla olan havayolları olarak tanımlanabilen büyük havayolu işletmelerinin yanında yerini alan bölgesel havayollarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır¹.

Bölgesel havayolu şirketlerinin tarihi, 1969’da ABD Sivil Havacılık Kurulu (Civil Aeronautics Board/CAB) tarafından verilen izinle ‘commuter’ olarak isimlendirilen havayollarının kurulmasına dayanmaktadır. Serbestleşme sonrası havacılıkta kullanılan noktadan noktaya uçuş ağının yerini topla&dağıt/hub&spoke olarak adlandırılan bir uçuş ağını benimsemişlerdir. Bu uçuş ağında, havayolları kendilerine merkez/hub olarak bir havalimanını belirleyerek yolcuları bu merkezde toplayıp uçuşu aksatmadan varış

noktalarına dağıtma şeklinde operasyon yapmaktadırlar. Benimsenen bu yeni uçuş sistemi ile büyük noktalardan küçük merkezlere uçuş düzenleyen ancak talep olduğunda da küçük noktalar arasında uçuş düzenleyebilen bölgesel havayolu işletmelerinin sayısı artmıştır. Özellikle artan maliyetlere karşı direnemeyen çoğu havayolu şirketi de bölgesel havayolları ile çeşitli iş birlikleri ile operasyon düzenleme yönünde eğilim göstermişlerdir.

Bölgesel havacılıkta kullanılan uçak tipleri, uçak motorlarında yaşanan gelişmeler ile zaman içinde değişmiştir. Bu değişim dönemleri Oktal ve Küçükönal’ın 2007 tarihinde yaptıkları çalışmada üçe ayrılarak incelenmiştir (Tunç, 2012):

1. *1980’lerde Pervaneli Uçakların Gelişmesi ile Yaşanan Değişim Dönemi:* Bu yıllarda serbestleşme sonrası yaşanan talep artışı ile havayolları küçük kapasiteli, yaklaşık 15 koltuklu uçaklarla küçük veya orta büyüklükteki yerleşim yerlerine pervaneli uçaklarla uçuş hizmet vermişlerdir.
2. *Büyük Havayolları ile Bölgesel Havayollarının İşbirliği Dönemi:* 1980-1990 yılları arasında yaşanan bu dönemde, daha önce kurulan bölgesel havayolu şirketleri büyük havayolları ile çeşitli işbirlikleri yaparak varlıklarını garanti altına alma yoluna gitmişlerdir. Her ne kadar bölgesel taşımacılık faaliyeti gösteren şirketlerin sayısında azalma da olsa yeni üretilen uçaklarla koltuk kapasitesi 50’ye çıkmış ve uçakların menzilleri de önemli ölçüde artarak daha uzun uçuşlar gerçekleştirilmiştir.
3. *Bölgesel Jet Dönemi:* Bu dönemde, özellikle 1990 sonrasında jet motorların bölgesel uçaklarda kullanılmasıyla bölgesel havacılıkta köklü değişiklikler yaşanmıştır. Artık bölgesel uçaklar daha uzun menzilli, çok daha fazla yolcu kapasiteli bir hale gelmiş bu da daha çok yolcu ile daha kısa süreli uçuşları mümkün kılmıştır.

Bölgesel hava taşımacılığı günümüzde ABD eyaletlerinde ve Avrupa’daki pek çok ülkede havayolu hizmetinde etkin rol oynamaktadır. ABD’de bölgede yürütülen bölgesel havayolu operasyonlarını düzenlemek adına 1975’te Kuzey Amerika’da kurulan Commuter

¹ ICAO Manual on the Regulation of International Air Transport, Chapter 5.1-Air Carriers

Havayolları Birliği (Commuter Airline Association) 1981’de Bölgesel Havayolu Birliği (Regional Airline Association/RAA) adını almıştır. RAA günümüzde, 18 Kuzey Amerika bölgesel havayolunu çok sayıda işbirlikçi kuruluş ile birleştirerek güçlü bir havayolu ağı oluşturmayı amaçlamaktadır. Avrupa’da ise 1980’de kurulan Avrupa Bölgesi

Havayolları Birliği (ERAA-European Regional Airline Association) kurulmuştur. Kuruluşa Avrupa’da operasyon yapan çok sayıda bölgesel havayolu şirketi üyedir. Aşağıda Tablo 1’de en iyi bölgesel havayolu olarak seçilmiş havayollarına ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Bazı Büyük Bölgesel Havayolu Şirketlerinin 2019 Yılı Yolcu ve Filo Bilgileri

Havayolları	Ülke	Taşınan yolcu sayısı	Kullanılan Turboprop Uçaklar	Kullanılan Jet Uçaklar
SkyWest Airlines ²	ABD	35.866.120		Embraer E175 Bombardier CRJ-200 Bombardier CRJ-700 Bombardier CRJ-900
Republic Airways ³	ABD	16.961.576		Embraer E170 Embraer E175
Envoy Air	ABD	15.050.000		Embraer E175 Embraer ERJ-135 Embraer ERJ-145 Bombardier CRJ-700
Olympic Air ⁴	Yunanistan	14.990.000	ATR 42-600 Bombardier Dash 8-100 Bombardier Q400	
Jazz (Jazz Aviation LP)	Kanada	10.600.000	Bombardier Dash-8 Bombardier Q400	Bombardier CRJ-200 Bombardier CRJ-900
Lufthansa CityLine	Almanya	8.100.000		Airbus A319-100 Bombardier CRJ-900
Bangkok Airways	Tayland	5.860.000	ATR 72-600	Airbus A319-100 Airbus A320-200
KLM Cityhopper	Hollanda	5.000.000		Embraer E175 Embraer 190 Embraer 195-E2
Iberia Regional ⁵	İspanya	4.724.500	ATR 72-600	Bombardier CRJ-200 Bombardier CRJ-900 Bombardier CRJ-1000
BA CityFlyer	İngiltere	2.830.000		Embraer E170 Avro RJ100 (BAe 146) Avro RJ85 (BAe 146)

² Skywest Airlines; United Express, Delta Connection, American Eagle ve Alaska Airlines havayollarının markası altında bölgesel havayolu olarak çalışmakta ve yolcu sayısı bu dört havayolu adına taşıdığı toplam yolcu sayını yansıtmaktadır.

³ Republic Airways; United Express, Delta Connection ve American Eagle havayollarının markası altında bölgesel havayolu olarak çalışmakta

ve yolcu sayısı bu üç havayolu adına taşıdığı toplam yolcu sayını yansıtmaktadır.

⁴ 2016’dan sonraki veriler Aegean Airlines ile birlikte verildiği için 2015 yolcu sayısı verilmiştir.

⁵ Air Nostrum, İspanya’nın bayrak taşıyıcı havayolu olan Iberia’nın Ayrıcalıklı Satış (Franchising) hizmeti veren havayolu olarak Iberia Regional adını almıştır.

Tablo 1. Bazı Büyük Bölgesel Havayolu Şirketlerinin 2019 Yılı Yolcu ve Filo Bilgileri Devamı

Widerøe	Norveç	2.800.000	Bombardier Dash 8-100 Bombardier Dash 8-200 Bombardier Dash 8-400	Embraer 190-E2
Aurigny	Fransa	530.000	ATR 72-500 ATR 72-600 Dornier 228	Embraer 195

*RAA 2018 yıllık raporu ve havayollarının internet sitesinden derlenmiştir.

Tablo 1’de belirtilen bölgesel havayolu şirketleri Avrupa ve Amerika’da önde gelen havayolu şirketlerini oluşturmaktadır. Özellikle ilk üç sırayı Kuzey Amerika’da faaliyet gösteren bölgesel havayolu şirketleri almaktadır. SkyWest Airlines ve Republic Airways, ABD’nin büyük havayolları adına operasyon düzenlemektedir. Bu yönleriyle özellikle SkyWest Airlines bölgenin en büyük havayolu şirketi konumundadır. Olympic Air, Yunanistan’ın en büyük havayolu şirketi Aegean Airlines’ın alt markası olan bölgesel havayolu şirkettir. Skytrax tarafından 2019 yılının en iyi havayolu şirketi seçilmiştir.⁶

Türkiye açısından bölgesel havacılık adına ilk adım, 2008 yılında atılmaya başlanmıştır. Yalçın Ayaslı tarafından kurulan Borajet, Türkiye’nin ilk bölgesel havayolu şirketi olarak 2010 yılında operasyonlara başlamıştır. İlk uçuşunu aynı yılın mayıs ayında İstanbul-Tokat arasında gerçekleştiren Borajet filosunda ATR 72-500 turboprop uçaklar bulundurmaktaydı. Sonraki dönemlerde filosuna 2014’te Embraer 190-E2 ve 2016’da Embraer 195-E2 tipi uçakları dahil etmiş, filo sayısını 13’e çıkarmıştır. 2016 yılının aralık ayında SBK Holding’e satılan Borajet’in uçuş serüveni kısa sürmüştü ve 24 Nisan 2017 itibarıyla uçuşlarını durdurmuştur. SBK Holding tarafından yeniden yapılanma dönemi olarak ifade edilen bu dönem, şirketin 7 Kasım 2019 yılında resmen iflasını açıklaması ile son bulmuştur.

Bölgesel havayolu şirketleri çeşitli yönleriyle sınıflandırılmaktadır. Çalışmada ICAO tarafından, havayollarını yaptıkları operasyonlara göre sınıflandırma kullanılmıştır. Bu kapsamda, bölgesel havayolu şirketleri yaptıkları operasyonların büyüklüklerine göre üçe ayrılmaktadır (ICAO, 2016; Tunç, 2012).

1.1. Bağımsız Bölgesel Havayolu Şirketleri

Bölgesel havacılık hizmetini kendine ait markası altında veren, herhangi bir büyük havayolu şirketinin uçuşlarını yapmayıp kendi adına uçuş düzenleyen havayolu şirkettir. Bu havayolları ya direkt olarak bölgesel havayolu olarak kurulmuşlardır ya da büyük bir havayolundan ayrılarak kurulmuş özerk bölgesel havayolu şirketleridir. Bu havayolu şirketleri operasyon yaptığı bölgeye göre değişiklik gösterse de genellikle 20-120 yolcu kapasiteli uçaklarla operasyon yapmaktadırlar.

1.2. Besleyici Bölgesel Havayolu Şirketleri

Besleyici bölgesel havayolu şirketleri, genellikle büyük havayollarının operasyon düzenlediği büyük havalimanlarından küçük havalimanlarına operasyon düzenleyen havayollarıdır. Daha düşük koltuk kapasiteli (ortalama 70) ve menzilli uçaklarla hizmet veren bu havayolu şirketleri, büyük havayollarının yolcularını hedef aldıkları için bu isimle anılmaktadırlar. Bu nedenle uçuş tarifeleri, büyük havayollarının tarifelerini yakalayacak şekilde düzenlenmektedir.

1.3. Kısa Mesafeli Commuter Havayolu Şirketleri

Bölgesel havayolu şirketlerinin yaptıkları bu operasyon şeklinin kesin sınırları olmasa da 30 yolcu kapasiteli uçaklarla küçük bölgeler arasında noktadan noktaya yapılan taşımacılık olarak tanımlanabilmektedir. Uçuş mesafeleri kısa olan bu hava operasyonlarında, günümüzde 50 yolcu kapasiteli uçaklar kullanılabilir.

2. Literatür

Havacılık operasyonlarında kullanılan pek çok uçak modeli bulunmaktadır. Farklı menzil,

yaparak bu havayolu şirketlerinin kalitesini çeşitli yönlerden değerlendiren uçuş araştırmaları servisedir.

⁶ Skytrax, Birleşik Krallık’ta uluslararası faaliyet gösteren ticari havayolu şirketleri adına araştırmalar

kapasite ve yapısal özelliklere sahip hava araçları arasında yapılacak seçimi, düzenlenmesi planlanan operasyonun özelliği ve kapsamı belirlemektedir.

Bölgesel hava taşımacılığı sistemi, uçaklarda kullanılan motorlarının geliştirilmesiyle hızlı bir değişim yaşamıştır. Başlangıçta pervaneli turboprop motorlarla başlayan uçak tipleri jet

motorlarla daha hızlı ve uzun menzilli hale gelerek sektörü daha çekici hale getirmiştir. Bu gelişmeler bölgesel havacılık operasyonlarını diğer havacılık faaliyetlerinden farklı kılan yönünün, kullanılan uçaklar olmasını sağlamıştır. Bu durum uçak tipi seçiminin önemini artırmaktadır. Tablo 2’de havacılık operasyonlarında kullanılacak uçak tipi seçimine dair yapılan çalışmalar verilmiştir.

Tablo 2. Uçak Seçimi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Yazar	Uygulan Ülke/Bölge	Araştırma Yapılan Havacılık Operasyonu
Gomes vd. (2014)	Brezilya	Bölgesel Charter Havayolu
Ozdemir vd., (2011)	Türkiye	Ticari Havayolu (THY)
Dožić ve Kalić (2014)	Güneydoğu Avrupa	Bölgesel Havayolu
Akyurt ve Kabadayı (2020)	Türkiye	Kargo Taşıyıcı Havayolu
Wang ve Chang (2007)	Tayvan	Hava Kuvvetleri Akademisi
Sun vd. (2011)		Varsayımsal Ticari Havayolu
Kıracı ve Bakır (2018)		Varsayımsal Ticari Havayolu
Yeh ve Chang (2009)	Tayvan	Ticari Havayolu
Yılmaz (2006)	Türkiye	Ticari Havayolu (THY)
Gürün (2015)	Türkiye	Bireysel Kullanıcı için İş Jeti

Gomes ve diğerleri (2014) çalışmasında, Brezilya’da lojistik sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin hava taksi ile havayolu operasyonuna girişini ve daha sonra bölgesel charter taşımacılık yapması için gerekli uçak tipi seçimini anlatmaktadır. Uçak seçiminde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden NAIAD (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments/Değerlendirme ve Karar Ortamlarını Kısıtlamaya Yönelik Yeni Yaklaşım) yöntemini kullanmıştır. Uçak seçimi, 11 uçak alternatifi arasından 13 kriter baz alınarak yapılmıştır. Uçak alternatifleri, Brezilya Havacılık Yönetmelikleri (Brazilian Regulations of Aeronautic) dikkate alınarak ve havayoluna avantajı açısından 20 ya da daha az koltuk kapasitesine sahip uçaklar olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda 19 yolcu kapasiteli Let L-410 tipi turboprop uçağı, bölgesel charter uçuşlar için en uygun model olarak saptanmıştır (Gomes vd., 2014).

Ozdemir ve diğerlerinin (2011), çalışmasında ülkemizin bayrak taşıyıcı havayolu şirketi olan THY’nin uçuşlarında kullanacağı uçak modelinin kararını ÇKKV yöntemi olan Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process/ANP) kapsamında incelemiştir. Uçak alternatifleri olarak A319, A320 ve B737

belirlenmiş ve kriterler maliyet, zaman, fiziksel özellikler olarak 3 grup altında toplamda 10 kriterle değerlendirilmiştir. Tüm kriterlerle değerlendirildiğinde THY için en iyi uçak B737 seçilmiştir (Ozdemir vd., 2011). Dožić ve Kalić (2014) çalışmasında, Güneydoğu Avrupa’da Belgrade Havalimanını merkez olarak kullanan varsayımsal bir havayolu için uçak seçim kararını Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process /AHP) yöntemi ile değerlendirmiştir. Havayolu 27 rotada, küçük uçaklarla bölgesel nitelikli uçuşlar düzenleyecek şekilde varsayılmıştır. Operasyonlarda, bölgesel jetlerden Embraer 190, Bombardier CRJ-700, CRJ-900 ve CRJ-1000, turboprop uçaklardan ise ATR 72-500, ATR 72-600 Bombardier Q400 NextGen alternatif olarak belirlenmiştir. 6 kriterle değerlendirilen bölgesel uçaklardan ATR 72-600 en iyi uçak tipi olarak saptanmıştır (Dožić ve Kalić, 2014).

Akyurt ve Kabadayı (2020), Türkiye’de faaliyet gösteren İstanbul Atatürk Havalimanı merkezli bir hava kargo şirketinin uçak seçim kararını bulanık ÇKKV yöntemleri ile analiz etmiştir. Analizde B777F, A330-200F, B747-400F ve A310-300F tipi geniş gövdeli uçaklar arasında seçim yapılmış ve en doğru uçak modelinin B777F olduğu görülmüştür (Akyurt ve

Kabadayı, 2020). Wan ve Chang (2007) çalışmasında, Tayvan'da Uçuş Kuvvetleri Akademisi'nde kullanılmak üzere eğitim uçağı seçimi yapmaktadır. Eğitim amaçlı kullanılan 7 pervaneli eğitim uçağı, 16 kriter çerçevesinde bulanık ÇKKV yöntemi ile değerlendirilmiştir (Wang ve Chang, 2007). Sun ve diğerleri (2011) bir havayolu için uçak seçimini, ilk kararın güçlülüğünü artırmak amacıyla yapılan Sağlamlık Analizi (Robustness Analysis) kapsamında değerlendirmişlerdir. B747-400, B747-200 ve A340-400 uçak modelleri arasında üç karar verme metodu ile uygulanan çalışmada, B747-400 uçağı en iyi alternatif olarak belirlenmiştir (Sun vd., 2011).

Kiracı ve Bakır (2018), herhangi bir havayolu açısından uçak seçimini ÇKKV yöntemleri ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya dahil edilen uçak modelleri A320, A321, B737-800 ve B737-900ER olup en iyi tercihin B737-800 uçağı olduğu karara varılmıştır (Kiracı ve Bakır, 2018). Yeh ve Chang (2009), Tayvan'da yerel uçuşlar yapan ticari bir havayolu için en avantajlı uçağın seçimi yapmaktadır. Alternatifler B757-200, A-321, B767-200, MD-82 ve A310-300 olarak belirlenmiş, havacılıkta en çok kullanılan yolcu uçağı modelleridir. Bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılarak verilen kararda 11 kritere göre değerlendirilen uçaklar için en avantajlı model B757-200 uçağı olmuştur (Yeh ve Chang, 2009). Yılmaz (2006) tarafından, THY'nin mevcut filosunu genişletme kararı alması durumunda A321-200, A320-200, B737-800, B737-900 ve B737-900X uçaklarından hangilerini tercih edebileceğinin uygulaması ÇKKV yöntemi ile yapılmıştır. Uçak modellerini ölçen 9 ana kriter altında tanımlı alt kriterlerle değerlendirilen uçak modelleri arasında B737-800 en iyi alternatif olarak saptanmıştır. Gürün (2015) çalışmasında, Türkiye'de bireysel nitelikli iş jeti almak isteyen bir kullanıcının seçebileceği, maximum 20 yolcu kapasiteli Bombardier Challenger 300, Dassault Falcon 2000, Citation X ve Gulfstream G450 uçakları arasında karar vermesini sağlayan bir ÇKKV çalışması yapılmıştır (Gürün, 2015).

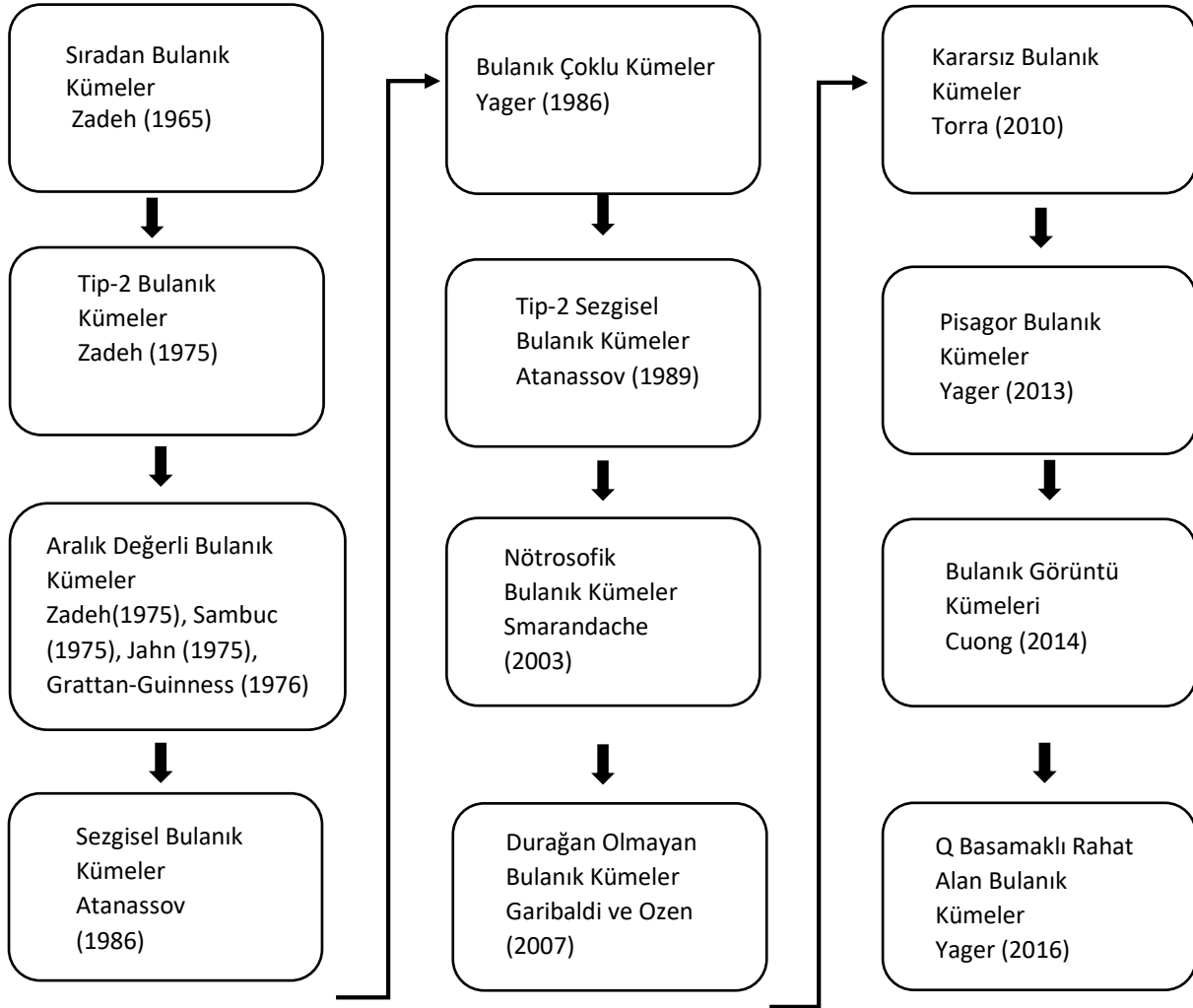
Bu çalışmada, Türkiye'de mevcut operasyon gösteren bir havayolunun olmadığı bölgesel

hava taşımacılığı oluşturmak için gerekli uçak modellerinin seçimi amaçlanmaktadır. Uçak seçimi ile ilgili yukarıda belirtilen çalışmalar olmasına rağmen söz konusu seçimin bölgesel havacılık kapsamında yerli literatürde bulunmayışı çalışmanın özgünlüğü artırmaktadır. Uçak seçim kararının genellikle ÇKKV veya bulanık ÇKKV yöntemleri ile uygulandığı görülmüştür. Aynı zamanda çalışmada bulanık sistemlere yeni bir yaklaşım olan ve literatürde henüz uçak seçiminde kullanılmamış Küresel Bulanık (Spherical Fuzzy/SF) sistemin kullanılmış olması çalışmayı diğerlerinden ayırt etmektedir.

3. Yöntem

Bulanık mantığın temelleri Lütfü Aliasker Zadeh tarafından 1965'te oluşturduğu küme sistemine dayanmaktadır (Zadeh, 1965). Bu sistemin temelinde bir elemanın kümeye belirli derecelerde üye olduğunu mantığı vardır. Klasik mantık sisteminde eğer bir eleman kümeye ait ise '1' değerini alırken o kümenin üyesi değilse '0' değerini almaktadır. Ancak bulanık sistemde elemanların kümeye aitliği [0-1] değerleri arasında değişmekte başka bir deyişle kümeye farklı derecelerde ait olmaktadır. Söz gelimi kilo kümesinin elemanları sadece 'kilolu' ve 'zayıf' olarak değil aynı zamanda 'az kilolu', 'orta kilolu' veya 'çok kilolu' ifadeleri de olabilir. Bulanık kümeler bu ara değerlerden oluşan kategorik verileri nümerik hale dönüştürerek ifade edilmesine olanak sağlamaktadır.

Lütfü Zadeh tarafından oluşturulan sıradan bulanık kümeler, zaman içerisinde yeni yaklaşımlarla geliştirilmiş ve pek çok bulanık setler oluşturulmuştur. Şekil 1'de bulanık kümelerin geliştirilmesi kronolojik olarak verilmiştir (Zadeh, 1975; Sambuc, 1975; Jahn, 1975; Grattan-Guinness, 1976; Atanassov, 1986; Atanassov, 1989; Yager, 1986; Smarandache, 2003; Garibaldi ve Ozen, 2007; Torra, 2010; Yager, 2013; Cuong, 2014; Yager, 2016).



Şekil 1. Bulanık Kümelerin Uzantıları (Kutlu, 2019)

Sıradan bulanık kümeleri, farklı boyutlu uzayda tanımlayan ilk çalışma Atanassov tarafından oluşturulan Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets/IFS) olmuştur. Atanassov, iki kümenin elemanlarını uzaysal boyutta incelerken bu kümeleri ve üyelerini günlük yaşamda seçimlerde oy verme örneği ile şu şekilde anlatmıştır: E, seçim yapılmış ve bir hükümet seçilmiş tüm ülkelerin olduğu bir evren olsun. Bu küme içerisinde A ülkesindeki seçilmiş hükümete oy verenlerin sayısı $M(x)$ ile ifade edilirse; $\mu(x) = \frac{M(x)}{100}$ olarak ifade edilen değer bu hükümete oy verenlerin yüzdesini ifade eder. A ülkesindeki hükümete oy vermeyen seçmenlerin yüzdesini, oy verenlerin yüzdesini 1'den çıkararak, $v(x) = 1 - \mu(x)$ şeklinde ifade edebiliriz. Ancak burada bahsi edilen seçmenler sadece başka partiye oy vermiş ve oy hakkını kullanmış kişilerdir. Hiçbir şekilde oy kullanmayan seçmenlerin oranının bilinmesi, X ülkesinin toplam oy hacmi açısından önem arz etmektedir. Oy

kullanmayanların oranını ise hükümete oy veren ve hükümete oy vermeyenlerin toplam yüzdesinin 1'den çıkarılması ile elde edilebilir ve $\pi(x) = 1 - \mu(x) - v(x)$ ile gösterilebilir (Atanassov, 1986). Günlük yaşamda da tıpkı bu örnekteki gibi yaşadığımız alanların çoğu n boyutlu uzaylardan oluşmaktadır. Oylama örneği ise, 3 boyutlu uzayda tanımlanmış bulanık bir kümeyi oluşturan üyelik derecelerini ifade etmiştir. Sezgisel bulanık küme A'nın, E evreninde tanımlı küme olduğunu varsayalım. $\mu_A(x)$, X'in A kümesine ait olma derecesini yani A kümesinin üyelik derecesini ifade eder. Benzer şekilde $v_A(x)$ ise A kümesine üye olmama derecesini ifade eder ve her ikisi IFS A'yı tanımlayan üyelik fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar için:

$$\mu_A: E \rightarrow [0,1] \text{ ve } v_A: E \rightarrow [0,1] \text{ olur. (1)}$$

Aynı zamanda:

$$0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1 \text{ aralığında tanımlanmaktadır. (2)}$$

Bu kümeyi sıradan bulanık kümelerden ayırt edecek ve ona boyut kazandıracak üyelik derecesi ise kararsızlık veya belirsizlik (hesitancy) üyelik derecesi olarak tanımlanan π üyelik derecesi olup:

$\pi_A(x)=1- \mu_A(X)-v_A(x)$ olarak tanımlanır. Sıradan bulanık kümelerde $\pi_A(x)=0$ olduğu için bu kümeler tek boyutlu ifade edilir.

IFS karar verme süreçlerinde, karar verici tarafından bir alternatif için o alternatifi sağlama derecesi olan μ , söz konusu alternatife karşıtlık derecesi olan v ile bu ikisinin bilinmesi ile hesaplanabilen ve alternatifi karşılayıp karşılamaması tam bilinmeyen kararsızlık katsayısından oluşur. Böylece IFS, sıradan bulanık mantıktaki belirsizliği tanımlayarak yönetmeyi sağlayan bir alan oluşturmuştur. Tanımlanan bu yeni bulanık set 3 boyutlu bulanık setlerin başlangıcı olmuştur. Şekil 1’de IFS’den sonra tanımlanan bulanık kümeler ise bu mantık üzerinde ilerlemektedir.

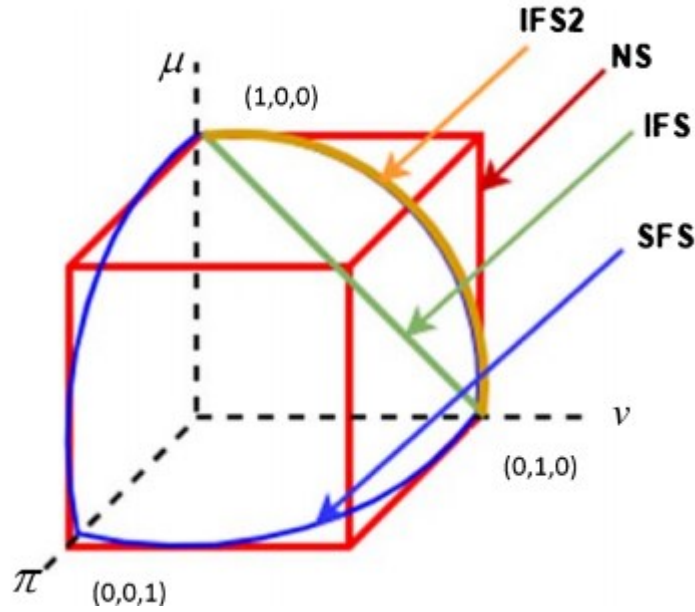
Tip 2 Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets Type 2/IFS2), yine Atanassov tarafından, IFS baz alınarak tanımlanmıştır. Burada en büyük fark üyelik derecesi (μ) ile üyelik dışı derecelerinin (v) toplamının 1’den büyük olabileceğinin ifadesidir. Böylece karar vericiler, bir alternatifi ifade eden bir kritere ait μ ve v üyelik derecelerinin seçiminde kısıtlanmamış ve daha rahat bir tercih alanına sahip olmuş olurlar. Ancak bu iki üyelik derecelerinin kareleri toplamı yine $[0,1]$ aralığında olmaktadır (Kutlu Gündoğdu, 2019; Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019).

Nötrosofik Bulanık Kümeler (Neutrosophic Fuzzy Sets/NFS), ismini İngilizce ‘neutral’ kelimesinden almakta olup tarafsız anlamına gelmektedir. IFS gibi NFS de 3 boyutlu olarak ifade edilen bir doğruluk derecesi (t), bir kararsızlık derecesi (i) ve bir yanlışlık derecesinden (f) meydana gelmektedir. Burada IFS’den temel fark üyelik derecelerinin kapsamı $[0,1]$ aralığında olabileceği gibi 0’dan küçük veya 1’den büyükte olabilmektedirler. Böylece bir kümeye aidiyet derecesi olan t ’nin mutlak üyeliği yani tüm olası uzayda ait olabileceği kümelerin derecesi ve nispi/göreceli üyeliği yani bütün tanımlanabilecek kümelere değil ancak en az bir kümeye üyelik derecesi arasında net bir ayırım yapabilmektedir. Çünkü mutlak üyelik derecesi 1’den büyük olabilmekte iken göreceli üyelik derecesi 1’e eşit olabilmektedir. Ayrıca doğruluk ve kararsızlık derecesi toplamı $[0,3]$ aralığı olarak daha genişletilmiştir (Smarandache, 2003).

3.1. Küresel Bulanık Kümeler

Bulanık kümelerin 3 boyutlu bir diğer uzantısı olan Küresel Bulanık Kümeler (Spherical Fuzzy Sets/SFS), Kutlu ve Kahraman tarafından 2018’de geliştirilmiştir (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019). İsmi, küresel düzlemde ifade edilebilen üyelik derecelerinden oluşmasından almaktadır. İki IFS arasındaki mesafe Öklid uzaklığı⁷ ile saptanırken iki SFS arasındaki mesafe küresel yay mesafesi ile ölçülmektedir.

⁷ Öklid uzaklığı, çok boyutlu uzaydaki iki nokta arasındaki uzaklığın doğrusal bağlantı yöntemi ile ölçülmesidir.



Şekil 2. SFS ve Bazı Bulanık Kümelerin Uzak Geometrisindeki Gösterimi (Gündoğdu ve Kahraman, 2019)

Şekil 2’de aynı üyelik derecelerinden oluşan SFS ile IFS, IFS2 ve NFS arasındaki ölçüm farkları gösterilmiştir. Yöntemi geliştiren Kutlu ve Kahraman’a göre “SFS’nin arkasındaki düşünce; karar vericilerin, küresel bir yüzey üzerinde bir üyelik işlevi tanımlayarak diğer bulanık kümelerin uzantılarını genelleştirmesine ve bu üyelik işlevinin parametrelerini bağımsız olarak daha büyük bir etki alanına atmasına izin vermektir”. Yöntemi diğer bulanık küme yorumlarından en önemli farkı, hem μ , ν ve π toplamının 1’den küçük olmasını sağlayarak NFS’deki bu aralığı revize etmek hem de Bulanık Görüntü Kümeleri teorisinin eleştirilen yönü olan bağımsız bir kararsızlık üyelik derecesini bir formüle atamaktır (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019). Böylece bir SFS için; üyelik derecesi olan μ ve üye olmama derecesi olan ν ’nin bilinmesi ile kararsızlık üyelik derecesi olan π , küresel yay mesafesi ile kolayca hesaplanabilmektedir. Bu durum ile karar verici, daha serbest bir karar alanı

yakalamaktadır. Küresel bulanık kümelerde μ , ν , π derecelerinin değerleri yine $[0,1]$ aralığında tanımlanabilirken karesi toplamı 0 ile 1 arasında olmaktadır.

Aşağıda, U evreninde tanımlı bir A küresel bulanık kümenin gösterimi ve bahsedilen aralıkları verilmiştir.

$$\tilde{A}_s = \{ \langle u, (\mu_{\tilde{A}_s}(u), \nu_{\tilde{A}_s}(u), \pi_{\tilde{A}_s}(u)) \mid u \in U \rangle \quad (3)$$

Burada;

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A}_s}(u) &: U \rightarrow [0,1], \\ \nu_{\tilde{A}_s}(u) &: U \rightarrow [0,1], \quad \pi_{\tilde{A}_s}(u) : U \rightarrow [0,1] \end{aligned} \quad (4)$$

ve

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}_s}^2(u) + \nu_{\tilde{A}_s}^2(u) + \pi_{\tilde{A}_s}^2(u) \leq 1 \quad \forall u \in U \quad (5)$$

olmaktadır.

İki küresel bulanık küme arasındaki mesafe aşağıdaki şekilde formülize edilir;

$$dis(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \arccos = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \nu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \nu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \end{array} \right) \quad (6)$$

Bir kürenin yüzeyinde \tilde{A}_s ve \tilde{B}_s arasındaki normalleştirilmiş küresel mesafe ise;

$$dis_n(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{n\pi} \sum_{i=1}^n arccos = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ v_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot v_{\tilde{B}_s}(u_i) + \\ \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \end{array} \right) \quad (7)$$

Formüllerde ifade edilen iki SFS arasındaki küresel ve normalize edilmiş küresel mesafe 0 ile 1 aralığında olmalıdır.

Aşağıda bazı SFS operatörleri verilmiştir.

Toplama;

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left(\begin{array}{l} (\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, \quad v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, \\ [(1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2]^{1/2} \end{array} \right) \quad (8)$$

Çarpma;

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, \quad (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, \\ [(1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2]^{1/2} \end{array} \right) \quad (9)$$

Bir sayı ile çarpım; $\lambda > 0$

$$\lambda \tilde{A}_s = \left(\begin{array}{l} (1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2}, \quad v_{\tilde{A}_s}^\lambda, \\ [(1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda]^{1/2} \end{array} \right) \quad (10)$$

Bir sayı ile kuvvet; $\lambda > 0$

$$\tilde{A}_s^\lambda = \left(\begin{array}{l} \mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, \quad (1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2}, \\ [(1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda]^{1/2} \end{array} \right) \quad (11)$$

Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama
(Spherical Weighted Arithmetic Mean/SWAM);

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$; $w_i \in [0, 1]$;
 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ise

$SWAM_w(\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}) = w_1 \tilde{A}_{S1} + w_2 \tilde{A}_{S2} + \dots + w_n \tilde{A}_{Sn}$
olur.

Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$SWAM = \left(\begin{array}{c} \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} \right)^{1/2}, \quad \prod_{i=1}^n (v_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i}, \\ \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu^2_{\tilde{A}_{S_i}} - \pi^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} \right]^{1/2} \end{array} \right) \quad (12)$$

Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama
(Spherical Weighted Geometric
Mean/SWGM);

SWGM_w($\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}$) =
 $\tilde{A}_{S1}^{w1} + \tilde{A}_{S2}^{w2} + \dots + \tilde{A}_{Sn}^{wn}$ olur.

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$; $w_i \in [0, 1]$;
 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ise

Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$SWGM = \left(\begin{array}{c} \prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}_{S_i}}^{w_i}, \quad \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - v^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} \right)^{1/2}, \\ \left[\prod_{i=1}^n (1 - v^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - v^2_{\tilde{A}_{S_i}} - \pi^2_{\tilde{A}_{S_i}})^{w_i} \right]^{1/2} \end{array} \right) \quad (13)$$

Puanlama işlevleri (Score function) ve
Doğruluk işlevi (Accuracy function);

$$Score(\tilde{A}_S) = (\mu_{\tilde{A}_S} - \pi_{\tilde{A}_S})^2 - (v_{\tilde{A}_S} - \pi_{\tilde{A}_S})^2 \quad (14)$$

$$Accuracy(\tilde{A}_S) = \mu_{\tilde{A}_S}^2 + v_{\tilde{A}_S}^2 + \pi_{\tilde{A}_S}^2 \quad (15)$$

Burada eğer $\tilde{A}_S < \tilde{B}_S$ olursa

- i. $Score(\tilde{A}_S) < Score(\tilde{B}_S)$ veya
- ii. $Score(\tilde{A}_S) =$
 $Score(\tilde{B}_S)$ ve $Accuracy(\tilde{A}_S) <$
 $Accuracy(\tilde{B}_S)$

3.2. AHP metodu

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan AHP açılımı Analytic Hierarchy Process olup Analitik Hiyerarşi Prosesi/Süreci anlamına gelmektedir. AHP, diğer ÇKVV yöntemlerinden farklı olarak, karar alternatiflerinin sayısının çok fazla olduğu ve kararın daha objektif olabilmesi için çok sayıda karar vericinin sürece katılmasına imkan tanıyan bir yöntemdir. AHP ile karar vericiler, problemde etkili kriterler arasındaki ilişkiyi ikili karşılaştırmalar ile daha net görebilmekte böylece problem için hangi kriterin daha önemli olduğuna hiyerarşik düzende karar verebilmektedirler.

AHP yönteminde, ikili karşılaştırmalar yapılırken aşağıda Tablo 3 ile verilen ölçek kullanılmaktadır.

Tablo 3. İkili Karşılaştırma Önem Ölçeği (Saaty, 1986)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyet amaca eşit derecede katkı sağlar
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir
5	Güçlü derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir
7	Belirgin derecede önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ortalama Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasına düşen değerler

AHP metodu uygulama işlem adımları aşağıda verildiği gibidir:

1. *İkili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulması:* Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması amacıyla oluşturulup uzmanlar tarafından Tablo 3'teki değerlerle cevaplanan anketler ile ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırmalar matrisi, kriterlerin birbirine göre önem değerlerini içeren bir matristir. Uzmanların kriterlere verdiği önem değerleri matrise işlenir. Oluşturulacak matris örneği aşağıdaki gibidir.

$$(A) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{pmatrix}_{n \times n}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & 1 \end{pmatrix}_{n \times n}$$

(16)

İkili karşılaştırmalar matrisinde önemli olan kriterlerin birbirine göre değer alırken ters değerler almasıdır. Söz gelimi i kriteri j kriterine göre 5 kat önemli ise j kriteri i kriterinin $1/5$ 'i kadar önemli olmaktadır ve matrise bu şekilde işlenir.

2. *İkili karşılaştırmalar matrisinin normalize edilmesi:* Bu aşamada, verilen cevap değerlerini aynı yapıya dönüştürmek amacıyla matris değerleri normalize edilir. Normalizasyon işleminin çeşitli yöntemleri vardır ancak en çok kullanılan yöntemde, her sütunda yer alan eleman sütun

toplamına bölünür ve normalize edilmiş matris elde edilir.

3. *Kriterlerin görelî önem değerlerinin saptanması:* Normalize edilmiş matrisler elde edildikten sonra, kriterlerin kendi içinde önem sırasına konulmasını sağlayan görelî önem değerlerinin (kriterlerin ağırlıklarının) bulunması gerekmektedir. Burada yapılacak işlem normalize edilmiş karşılaştırmalar matrisinin her bir satırı için aritmetik ortalama hesaplamaktır. Böylece kriter ağırlıkları (w_i) ile en önemli karar kriteri saptanmış olur. Bu değerlerin toplamı 1'e eşit olmak zorundadır.
4. *Tutarlılık analizinin yapılması:* Kriter ağırlıklarının bulunması ile kriterlerin belirli bir sıraya konulması kararın kesin bu sıralama ile verilmesinde yeterli değildir. Çünkü verilen cevaplar arasında tutarlılık olması gereklidir. Uzmanların, kriterleri değerlendirirken verdikleri puanlar birbiri ile çelişmemelidir. Tutarlılık kontrolünde amaç sadece A, B'den daha önemli; B'de C'den daha önemliyse A, C'den de önemlidir şeklindeki matematikte geçişkenlik olarak bilinen özelliği sağlamak değil, aynı zamanda A, B'den iki kat daha önemli ve B'de C'den üç kat daha önemliyse; A, C'den altı kat daha önemlidir şeklinde oransal bir tutarlılığı da saptamaktır. (Aytürk, 2006; İmren, 2011). Bu soyut matematikte bulunan geçişkenlik özelliğini yansıtmaktadır. Burada tutarlılık analizi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (17)$$

Bu değerin 0,10'dan küçük olması beklenir. Aksi halde matrislerdeki cevaplar tutarsızdır ve gözden geçirilmelidir.

Buradaki RI değeri Rassallık İndeksi olup elimizdeki kriter sayısına göre belirlenmiş hazır bir indekstir. Aşağıda Tablo 4'te Rassallık İndeksinin kriter sayısına göre aldığı değerler verilmiştir.

Tablo 4. Rassal İndeks Değerleri

Boyut (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,25	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

CI değeri ise Tutarlılık İndeksi olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (18)$$

Formüldeki λ_{max} ifadesi en büyük özdeğer olup hesaplanması şu şekildedir:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (19)$$

Formüldeki λ_{max} hesaplanırken; ikili karşılaştırmalar matrisindeki kriterlere ait her bir satır değeri ile bu matris kriterine ait görelî önem değeri (w_i) ile çarpılır, her bir satır için işlem tekrarlanır ve elde edilen matrisin satırları toplanır. Elde edilen vektöre ağırlıklaştırılmış toplam vektörü ($a_{ij} * w_i$) denir. Ağırlıklaştırılmış toplam vektörünün her bir ögesi görelî önem vektöründe buna karşılık gelen öğeye (ağırlığa) bölünür. Elde edilen değerlerin bulunduğu sütun toplamının aritmetik ortalaması alınır ve λ_{max} elde edilmiş olur. Böylece Tutarlılık İndeksi hesaplanır ve bu değerin Rassallık İndeksine bölünmesi ile tutarlılık oranı bulunur.

Tutarlılık hesaplaması, karar vericilerden gelen bütün cevaplar için yapılmaktadır.

5. *Grup kararı için anketlerin birleştirilmesi:* Eğer karar verici sayısı birden fazla ise bu durum grup karar verme olarak ifade edilmektedir. Bu anlamda anketler için bir birleştirme ve grup kararı ortaya çıkarılmalıdır. Bunun için karar vericilerden gelen ve ikili karşılaştırmalar matrisine işlenmiş tüm cevapların, her bir matris vektöründeki karşılıklarının geometrik ortalaması alınır. Örneğin kriter i ile kriter j'nin ikili karşılaştırma matrisindeki tüm anketlerdeki değerinin geometrik ortalaması alınır ve ilgili matrise yazılır. Böylece birleştirilmiş matris için de yukarıda belirtilmiş işlem adımı 2'den itibaren yeniden gerçekleştirilir. Burada

amaç her cevabın hem toplu olarak hem de kendi içlerinde tutarlı olmasını sağlamaktır.

Çalışmada AHP yönteminden sadece kriter ağırlıklarının elde etmede faydalanılmış olup alternatiflerin puanlanmasında farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Böylece küresel bulanık ortamda hibrit karar verme benimsenmiştir.

3.3. Küresel Bulanık AHP metodu

AHP yöntemi, küresel bulanık kümeler ile kullanılan ÇKKV verme yöntemlerindedir. Bu durum yöntemin, karar problemi çözerken kriterler arasındaki durumu ikili karşılaştırma ile ortaya koyarak önem derecelerinin belirlenmesini sağlamasından kaynaklanmaktadır. Küresel ortamda bir ÇKKV yöntemi ile karar verme problemi, üyelerinin küresel ortamda tanımlandığı ve alternatiflerin kriterlere göre bu ortamda aldığı değerlerle ölçüldüğü bir işlem olarak düşünülebilir.

Küresel Bulanık AHP (Spherical Fuzzy AHP/SF-AHP), çalışmada kullanılan uçak seçiminde etkili kriterlerin karşılaştırılması ve görelî önem katsayılarının (ağırlıklarının) elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Aşağıda küresel AHP ikili karşılaştırma için işlem adımları verilmiştir.

1. *Problemin hiyerarşik yapısının tanımlanması:* Bu aşama, problemin tanımlanmasını ve kriterler varsa alt kriterlerin tanımlanmasını içeren şablonun oluşturulduğu ilk adımdır.
2. *Tutarlılık analizinin yapılması:* Bu aşamada matrisler birleştirilmeden tutarlılığın hesaplanması yapılır. SF-AHP tutarlılık analizinde, küresel değerleri değil onlara karşılık gelen sayı değerlerini kullanır. SF-AHP kullanılan dilsel değerler ve karşılık gelen sayı değerleri Tablo 5 ile ifade edilmiştir.

Tablo 5. Küresel Bulanık İkili Karşılaştırmada Kullanılan Dilsel Değerler ve Karşılık Gelen Sayılar (Kahraman ve Gündoğdu, 2020)

Dilsel Değerler	(μ, ν, π)	Sayı Değerleri
Kesinlikle Daha Önemli	(0.9, 0.1, 0)	9
Çok Yüksek Önemli	(0.8, 0.2, 0.1)	7
Yüksek Önemli	(0.7, 0.3, 0.2)	5
Biraz Daha Önemli	(0.6, 0.4, 0.3)	3
Eşit Önemli	(0.5, 0.4, 0.4)	1
Biraz Düşük Önemli	(0.4, 0.6, 0.3)	1/3
Düşük Önemli	(0.3, 0.7, 0.2)	1/5
Çok Düşük Önemli	(0.2, 0.8, 0.1)	1/7
Kesinlikle Düşük Önemli	(0.1, 0.9, 0)	1/9

Sayı değerleri hesaplanırken; daha önemli yani eşit önemden üstte kalıp daha yüksek öneme sahip olanlar için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Gündoğdu ve Kahraman, 2020).

$$SI = (|100 * ((\mu_{\bar{s}} - \pi_{\bar{s}})^2 - (\nu_{\bar{s}} - \pi_{\bar{s}})^2)|)^{1/2} \quad (20)$$

Benzer şekilde eşit önemden aşağıda kalarak daha düşük öneme sahip küresel değerler için ise aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$\frac{1}{SI} = \frac{1}{(|100 * ((\mu_{\bar{s}} - \pi_{\bar{s}})^2 - (\nu_{\bar{s}} - \pi_{\bar{s}})^2)|)^{1/2}} \quad (21)$$

Böylece elde edilen bu değerler ile karar vericilerden gelen matrislerin tutarlılık analizi [Eşitlik 17](#), [18](#) ve [19](#) işlem adımları ile gerçekleştirilir.

3. *Küresel bulanık ikili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulması:* Karar vericilerden gelen matrislerin tutarlılığı sağlandıktan sonra, küresel küme değerlerinin bulunduğu ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur.
4. *Matrislerin Birleştirilmesi:* Karar vericilerden gelen cevaplar [Eşitlik 13](#)'te verilen SWGM operatörü kullanılarak birleştirilir.
5. *Kriterlere ait küresel bulanık ağırlıklarının hesaplanması:* Birleştirilmiş matristen kriterlere ait küresel bulanık ağırlıklar, [Eşitlik 12](#)'de verilen SWAM operatörü kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada tek fark, SWAM operatörünün ağırlık hesaplanmasında kullanılması nedeniyle karar vericilere ait w_i ağırlık katsayıları yerine n =kriter sayısı olmak üzere $\frac{1}{n}$

katsayısının kullanılmasıdır. Literatürde, Mathew ve diğerlerinin (2020) bu aşamada SWGM operatörü ile küresel ağırlıkları hesaplanmanın daha az hesaplama gerektirmesi, bulanık yapılara daha uygun olması gibi nedenlerle daha çok kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır (Mathew vd., 2020). Ancak SWAM operatörünün küresel aritmetik ortalamasının küme üyelik değeri olan μ değerinden hareketle belirsizlik değeri olan π değerini hesaplaması, böylece üyelik değerini baz alarak belirsizliği tanımlaması gibi alternatifleri nedeniyle literatürde daha çok tercih edilmiş ve araştırmada da kullanılmıştır (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2020; Ayyıldız ve Gumus, 2020; Otay vd., 2020; Oztaysi vd., 2020).

6. *Küresel bulanık kriter ağırlıklarının berraklaştırılması:* Bu aşamada yapılan, elde edilen küresel bulanık ağırlık katsayılarından net sayı değerleri elde etmektir. Bunun için aşağıda ifade edilen skor fonksiyonu eşitliği kullanılır.

$$S(\tilde{w}_j^s) = \sqrt{|100 * [(3\mu_{\bar{A}_s} - \frac{\pi_{\bar{A}_s}}{2})^2 - (\frac{\nu_{\bar{A}_s}}{2} - \pi_{\bar{A}_s})^2]} \quad (22)$$

7. *Normalize edilmiş net ağırlıkların hesaplanması:* Bu aşamada bulanıklaştırılmış kriter ağırlıklarından net değerler elde etmek amacıyla AHP yönteminde bilinen ve sütun toplamının sütundaki her öğeye bölünmesi ile gerçekleştirilen normalizasyon işlemi yapılır ve kriterlere ait net değerler elde edilir.
8. *Global net ağırlıkların hesaplanması:* Alt kriterlere ve alternatiflere ait küresel

ağırlıklar hesaplanır. Bu işlemde her alt kritere ait bir önceki basamakta bulunan normalize yerel ağırlıklar ile ana kriterlere ait yerel ağırlıklar çarpılır. Tüm alt kriterlere ait hesaplanan bu ağırlıkların toplamı, klasik AHP ağırlık hesaplamada olduğu gibi 1'e eşit olur.

3.4. TOPSIS metodu

ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution/İdeal Çözümüne Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralaması anlamına gelmektedir. Yöntemin temelinde karar verme sürecindeki her bir alternatifin pozitif ideal çözüme (Pozitive Ideal Solution/PIS) en yakın iken aynı zamanda negatif ideal çözümden (Negative Ideal Solution/NIS) en uzak olması gerektiği mantığı bulunmaktadır. Bu çözüm noktalarını belirlemede alternatifleri ölçmekte kullanılacak kriterlerin fayda/maliyet ya da kâr/zarar eğilimine sahip olduğu düşünülmektedir. Söz gelimi satın alım kararında, ürün alternatifleri için fiyat değişkeni düşük olması istenen bir kriter iken kullanım ömrü yüksek olması gereken bir kriter olacaktır. Yöntem, bu iki kriterden fayda kriteri olan kullanım ömrünü maksimize ederken maliyet kriteri olan fiyat kriterini ise minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Bazen iki alternatif PIS aynı yakınlıkta iken birisi NIS'e daha yakın olmaktadır. TOPSIS yöntemi ile bu iki çözüm noktası arasındaki uzaklık belirlenerek hem PIS'a en yakın hem de NIS'a en uzak alternatifin tercihinin imkân sağlamaktadır.

TOPSIS metodu uygulanması açısından aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. İlk aşamada çalışma amacı belirlenir, alternatif ve kriterlerin tanımlanır.
2. *Karar matrisinin oluşturulması:* Karar alternatiflerinin satırlarda, değerlendirme kriterlerinin sütunlarda olduğu başlangıç karar matrisi oluşturulur. Söz konusu matris aşağıdaki gibidir.

$$A_1 \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (23)$$

3. *Karar matrisinin normalize edilmesi:* Kriterlere ait ağırlıklar belirlendikten sonra karar, kriterleri boyutsuz hale getirerek karşılaştırmayı daha anlamlı kılmak amacı ile karar matrisi standartlaştırılır. Burada

yapılacak işlem her bir kritere ait değer/matris vektörü ilgili kriter sütununun kareleri toplamının kareköküne bölünür ve ilgili alana yazılır:

$$j=1,2,\dots,\dots,n \quad \text{ve} \\ i=1,2,\dots,\dots,m \text{ olmak üzere}$$

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (24)$$

4. *Ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulması:* Bu aşamada kriterlere ait önem ağırlıkları (W) ile normalize edilmiş matrisin her vektörü (R_{ij}) tek tek çarpılır ve aşağıdaki ağırlıklı normalize matris (V) elde edilir.

$$\begin{bmatrix} W_1 R_{11} & \dots & W_n R_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ W_1 R_{m1} & \dots & W_n R_{mn} \end{bmatrix} \rightarrow V = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{n1} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (25)$$

5. *PIS ve NIS belirlenmesi:* Bu aşamada her kriterin fayda/maliyet olmasına göre PIS ve NIS belirlenir. PIS için; fayda kriteri ise sütundaki en büyük değer iken maliyet kriteri ise sütundaki en küçük değer seçilir. NIS için ise; fayda kriteri için minimum değer iken maliyet kriteri için maksimum değerdir.

$$A^+ \{(\max V_{ij} | j \in F), (\min V_{ij} | j \in M)\} \rightarrow A^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_k^+\} \quad (26)$$

$$A^- \{(\min V_{ij} | j \in F), (\max V_{ij} | j \in M)\} \rightarrow A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_k^-\} \quad (27)$$

Yukarıdaki her iki formülde de F fayda kriterini, M ise maliyet kriterini ifade etmektedir.

6. *Ayırım ölçülerinin bulunması:* Bu aşamada PIS olan uzaklık ve NIS olan uzaklık formülü kullanılarak bu uzaklıklar tespit edilir.

Aşağıda PIS için kullanılacak mesafe formülü belirtilmiştir.

$$S^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V^+)^2} \quad (28)$$

Aşağıda NIS için kullanılacak mesafe formülü verilmiştir.

$$S^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V^-)^2} \quad (29)$$

7. *İdeal çözüme olan göreceli yakınlığın hesaplanması:* Bu aşamada elde edilen ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklardan hareketle ideal çözüme göreceli yakınlık, negatif ideal çözüme olan uzaklığın ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların toplamına bölünmesi ile elde edilir.

$$C^* = \frac{S^-}{S^+ + S^-} \quad (30)$$

Burada $0 \leq C^* \leq 1$ olmalıdır.

8. *Alternatiflerin sıralanması:* Alternatiflerin ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları maksimum değer baz alınarak sıralanır.

3.5. Küresel Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, 3 boyutlu bulanık setlerde çok kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun en önemli nedeni, TOPSIS yönteminin kullanım alanının geniş olması ve karar verme yöntemleri arasında ideal çözüm noktasına en yakın kararın alınmasını sağlamasıdır.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ($m \geq 2$) alternatifleri, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ kriterleri ve $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, $0 \leq w_j \leq 1$ $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

her bir kritere ait ağırlığı göstermek üzere küresel bulanık TOPSIS (SF-TOPSIS) uygulaması işlem adımları aşağıdaki gibidir.

1. *Karar matrisinin oluşturulması:* İlk aşamada ÇKKV yöntemlerinde ilk adım sayılan karar matrisinin oluşturulmasıdır. Burada karar vericilerden gelen cevaplar ile matris oluşturulur. Matrisin oluşturulması için [Tablo 5](#)'teki dilsel değerler ve karşılık gelen sayılar kullanılır.
2. *Matrisleri Birleştirme:* Bu aşamada karar vericilerden gelen her bir cevap [Eşitlik 12](#) ve [13](#)'te verilen SWAM veya SWGM operatörleri ile birleştirilir. Burada matrislerde kullanılan ağırlıklar karar vericiler için belirlenmiş ağırlıklardır. Bu ağırlıklar belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılabilir. Ancak hepsinde karar vericilere ait ağırlıkların toplamı 1'e eşit olmaktadır.
- 2.1. *Kriter ağırlıklarını birleştirme:* Karar vericilerin cevaplarına göre kriter ağırlıkları birleştirilir. Kriterlere ait ağırlıkların toplamı 1'e eşit olmalıdır.

- 2.2. *Birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisinin oluşturulması:* Karar vericilerin görüşlerinden elde edilen birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

Alternatifler X_i ($i = 1, 2, \dots, m$), karşılık gelen kriterler C_j ($j = 1, 2, \dots, n$) olmak üzere $(C_j(X_i)) = (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij})$ birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisi $D = (C_j(X_i))_{m \times n}$ olarak ifade edilir.

$$D = (C_j(X_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} (\mu_{11}, v_{11}, \pi_{11}) & \dots & (\mu_{1n}, v_{1n}, \pi_{1n}) \\ \dots & \dots & \dots \\ (\mu_{m1}, v_{m1}, \pi_{m1}) & \dots & (\mu_{mn}, v_{mn}, \pi_{mn}) \end{pmatrix} \quad (31)$$

3. *Ağırlıklı birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisinin oluşturulması:* Bu aşamada kriterlerin birleştirilmiş ağırlıkları ile birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisi [Eşitlik 9](#)'da verilen küresel iki kümenin çarpımı formülü kullanılarak çarpılır. Oluşturulacak yeni matris aşağıdaki gibidir.

$$D = (C_j(X_{iw}))_{m \times n} = \begin{pmatrix} (\mu_{11w}, v_{11w}, \pi_{11w}) & \dots & (\mu_{1nw}, v_{1nw}, \pi_{1nw}) \\ \dots & \dots & \dots \\ (\mu_{m1w}, v_{m1w}, \pi_{m1w}) & \dots & (\mu_{mnw}, v_{mnw}, \pi_{mnw}) \end{pmatrix} \quad (32)$$

4. *Bulanıklaştırma:* Ağırlıklı birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisi, [Eşitlik 14](#)'te verilen skor işlevi kullanılarak bulanıklaştırılır.
5. *Küresel bulanık pozitif ideal çözüm (Spherical Fuzzy Positive Ideal Solution/SF-PIS) ve küresel bulanık negatif ideal çözüm (Spherical Fuzzy Negative Ideal Solution/SF-NIS) hesaplanması:*

SF-PIS için kullanılacak formül aşağıda verilmiştir:

$$A^+ = \{C_j, \max_i < \text{Score}(C_j(X_{iw})) > | j = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (33)$$

$$A^+ = \{ \langle C_1(\mu_1^+, v_1^+, \pi_1^+) \rangle, \langle C_2(\mu_2^+, v_2^+, \pi_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n(\mu_n^+, v_n^+, \pi_n^+) \rangle \}$$

SF-NIS için kullanılacak formül aşağıda verilmiştir:

$$A^- = \{C_j, \min_i < \text{Score}(C_j(X_{iw})) > | j = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (34)$$

$$A^- = \{ \langle C_1(\mu_1^-, v_1^-, \pi_1^-) \rangle, \langle C_2(\mu_2^-, v_2^-, \pi_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n(\mu_n^-, v_n^-, \pi_n^-) \rangle \}$$

6. *Küresel bulanık pozitif ideal çözüme ve küresel bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklık hesaplama:* Bu aşamada her alternatif için SF-PIS ve SF-NIS ile olan uzaklıkları hesaplanır. Bu hesaplamalarda normalize edilmiş Öklid mesafesi (normalized Euclidean distance) kullanılır.

SF-PIS ile olan uzaklık aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$D(X_i, A^+) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((\mu_{x_i} - \mu_{A^+})^2 + (v_{x_i} - v_{A^+})^2 + (\pi_{x_i} - \pi_{A^+})^2)} \quad (35)$$

SF-NIS ile olan uzaklık aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$D(X_i, A^-) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((\mu_{x_i} - \mu_{A^-})^2 + (v_{x_i} - v_{A^-})^2 + (\pi_{x_i} - \pi_{A^-})^2)} \quad (36)$$

7. *SF-NIS ile olan maksimum mesafe ve SF-PIS ile olan minimum mesafenin ölçülmesi:*

SF-PIS ile olan minimum mesafe aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$D_{min}(X_i, A^+) = \min_{1 \leq i \leq m} D(X_i, A^+) \quad (37)$$

SF-NIS ile olan maksimum mesafe aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$D_{max}(X_i, A^-) = \max_{1 \leq i \leq m} D(X_i, A^-) \quad (38)$$

8. *Alternatiflerin göreli yakınlıklarının/yakınlık katsayılarının hesaplanması:* Bu aşamada alternatiflerin sıralanmasını sağlayacak ve küresel bulanık kümeler için Zhang ve Xu tarafından verilen formülle hesaplanacak göreli yakınlık oranları bulunacaktır (Zhang ve Xu, 2014).

Bu formülün Kutlu Gündoğdu ve Kahraman tarafından negatif veya sıfır sonucunu vermemesi amacıyla revize edilmiş hali aşağıda verilmiştir (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019):

$$\xi(X_i) = \frac{D(X_i, A^+)}{D_{min}(X_i, A^+)} - \frac{D(X_i, A^-)}{D_{max}(X_i, A^-)} \quad (39)$$

9. *Alternatiflerin sıralanması:* SF-TOPSIS en son aşaması olan bu aşamada, göreli uzaklıkların her alternatif adına hesaplanması üzerine alternatifler için bir optimal sıralama değerleri elde edilmiş olur. Eldeki artan yakınlık değerlerine göre tercih edilebilir alternatif açığa çıkmıştır. Burada en büyük değere sahip alternatif pozitif değere en yakın ve negatif değerden en uzak olduğu için tercih sebebi olmaktadır.

4. Bulgular

Çalışmada havayolu şirketleri açısından en kritik kararlardan biri olan uçak seçim kararının, ÇKKV yöntemleri yardımıyla verilmesi amaçlanmaktadır. Havayolu şirketi olarak bölgesel nitelikli uçuşlar düzenleyecek bölgesel bir havayolu şirketi baz alınmıştır.

Maliyet ana kriteri başlığında, *satın alma maliyeti* ve *koltuk/km maliyeti* tanımlanmaktadır. Satın alma maliyeti uçağın ilk alımında oluşan maliyeti ifade eden alt kriterdir. Söz konusu kriter uçak seçim çalışmalarının neredeyse hepsinde dikkate alınmış bir maliyet kriteri olarak karşımıza çıkmaktadır (Ozdemir vd., 2011; Semercioğlu ve Özkoç, 2019; Gomes vd., 2014; Yeh ve Chang, 2009). Koltuk/km maliyeti, uçağın işletilmesinden kaynaklı, bir koltuğunun km başına yarattığı yakıt hariç sigorta, uçuş ekibi, bakım gibi maliyetleri ifade eden alt kriter olup uçak seçiminde maliyet açısından çoğu çalışmada ele alınmaktadır (Dožić ve Kalić, 2014; Sun vd., 2011).

Teknik özellikler ana kriteri ile uçağın, yapılacak operasyona göre sahip olması istenilen alt kriterler tanımlanmıştır. *Çevresel etkinlik*, uçağın gürültü/ses seviyesi ile atmosfere yaydığı sera gazını ifade eden çevresel kriterdir. Söz konusu kriter farklı çalışmalarda gürültü seviyesi, sera gazı/C₂O salınımı olarak ele alınmış ancak bu çalışmada çevresel etkinin genel ifadesine yer verilmiştir (Yeh ve Chang, 2009; Kiracı ve Bakır, 2019). *Gerekli iniş/kalkış mesafesi* uçağın iniş ve kalkışlarda kullanacağı pist uzunluğunu ifade eden alt kriterdir. Kriter, seçilecek uçak hakkında boyutsal kısıtlamalara neden olacağı

için önem arz etmektedir ve bu nedenle farklı çalışmalarda kullanılmıştır (Gomes vd., 2014). Yakıt tüketimi uçağın uçuşlarda saatte kullandığı (ton/saat) ortalama yakıt miktarını içeren göstergedir. Yakıt işletme açısından en önemli maliyet kalemlerinden olması nedeniyle kriter, uçak seçim çalışmalarında önemli olmaktadır (Kiracı ve Bakır, 2019; Inan, 2019). *Maksimum kalkış ağırlığı (Maximum Take-off Weight/MTOW)* uçağın; yakıt, yolcu, bagaj ve kargo gibi toplam yükleriyle birlikte pistten teker kesebileceği en yüksek kütleyi ton cinsinden ifade eden kriterdir. Uçağın yapısal ağırlıklarından olan MTOW, uçak seçim çalışmalarında dikkate alınan bir kriterdir (Inan, 2019; Semercioğlu ve Özkoç, 2019; Sun vd., 2011). *Toplam bagaj hacmi*, uçağın bagajlar için ayrılan maksimum yük kapasitesini ifade eden alt kriterdir ve önem arz etmektedir (Dožić ve Kalić, 2014; Sun vd., 2011). *Koltuk sayısı* ise

uçağın arz ettiği koltuk sayısını, yolcu kapasitesini ifade eden kriterdir. Uçakların operasyonundan gelir elde edilmesi, taşınan yolcu sayısı ile ifade edileceği için çalışmalarda önem arz eden bir göstergedir (Kiracı ve Bakır, 2019; Semercioğlu ve Özkoç, 2019).

Emniyet geçmişi, uçağın operasyonel güvenilirliğini ifade eden ana kriter olup 2 alt kriterle açıklanmaktadır. *Kaza/kırım* sayısı, uçağın yaşadığı kaza/kırım sayısını ifade eden göstergedir. *Teknik aksaklık*, uçak modelinin ilk üretiminden kaynaklı, uçağın yeniden üretimine veya uçuşlarda güvenlik açığına neden olabilecek emniyet sorunlarını ifade eden kriterdir.

Bu kapsamda uçak seçiminde etkili 10 kriter, 3 ana kriter altında tanımlanarak Tablo 6 ile aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 6. Uçak Seçiminde Kullanılan Ana Kriterler ve Alt Kriterler

Ana kriterler	Alt Kriterler
Maliyet (M)	Satın Alma Maliyeti (S1)
	Koltuk/km Maliyeti (S2)
Teknik Özellikler (T)	Çevresel Etkinlik (T1)
	Gerekli İniş/Kalkış Mesafesi(T2)
	Yakıt Tüketimi (T3)
	Maximum Kalkış Ağırlığı/MTOW (T4)
	Toplam Bagaj Hacmi (T5)
	Koltuk Sayısı (T6)
Emniyet Geçmişi (E)	Kaza/Kırım Sayısı (E1)
	Teknik Aksaklık (E2)

Çalışmada kullanılan uçak alternatifleri, bölgesel taşımacılık yapan büyük havayolu

şirketleri göz önüne alınarak Tablo 7'deki gibi saptanmıştır.

Tablo 7. Araştırmada Kullanılan Uçak Alternatifleri

Bölgesel Havacılıkta Kullanılan Jet Motorlu Uçaklar
Embraer ERJ-135
Embraer ERJ-145
Embraer ERJ-170
Embraer ERJ-175
Embraer ERJ-190
Embraer ERJ-195
Bombardier CRJ-100/200
Bombardier CRJ-900
Bombardier CRJ -700

Söz konusu uçak alternatiflerinin özellikle bölgesel havacılıkta kullanılan jet motorlu uçaklardan oluştuğu görülmektedir. Yine bu operasyonlarda kullanılan turboprop motorlu uçaklar araştırmaya dahil edilmemiştir. Bunun en önemli nedeni Türkiye'deki tek bölgesel havayolu şirketi olan Borajet Havayolları'nın, turboprop uçaklarla yaşadığı sıkıntının iflasında etkili olduğunun açıklanmasıdır. Türkiye'de önemli havacılık haber sitelerinden olan Airport Haber ve Airkule'nin haberlerine göre Borajet'in iflasının altında ATR 72-500 uçağının yolcular tarafından güvensiz bulunması yatmaktadır. Bu uçakların pervaneli uçaklardan olması ve bu görüntüsüyle yolculardan bir türlü onay alamaması ayrıca toprak piste dahi inebilecek özellikte olmasının güvensiz algılanması gibi nedenlerle yolcu talebini olumsuz etkileyerek havayolu şirketinin iflasına yol açtığı bildirilmiştir (Gün, 2014; Herdem, 2017). Bölgesel havacılık sisteminin etkin olabilmesi için entegrasyonu planlanan ülke veya bölgelerin tutum ve alışkanlıklarının göz önünde bulundurulması elbette kaçınılmazdır. Bölge olarak Türkiye'nin seçilmesi ve tek bölgesel havayolunun bu sıkıntılarla karşılaşması nedenleriyle araştırma kapsamı sadece turbojet uçaklarla yürütülmüştür.

Araştırma kapsamında Tablo 7'de belirtilen 9 alternatif uçak tipi, Tablo 6'da ifade edilen 3 ana kriter altında tanımlı 10 alt kriter çerçevesinde değerlendirilmiş ve küresel

bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılarak alternatifler arasında karar vermek amaçlanmıştır. Araştırmada karar verici olarak havacılık sektöründe çalışmış 3 uzmanın görüşlerinden faydalanılmıştır. Söz konusu uzmanlardan ilki Sky Havayolları'nda 5 yıl, ikincisi Atlasjet Havayolları'nda 3,5 yıl tarife ve filo planlama uzmanı olarak çalışmışlardır. Üçüncü uzman ise MNG Havayolları'nda 13 yıl tarife ve planlama şefi /operasyon koordinasyon müdürü olarak çalışmış ve hala görevine devam etmektedir.

Araştırma kapsamında, SF-AHP yöntemi ile kriterlere ait küresel bulanık ağırlıklar elde edilmiştir. SF-TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Araştırmanın uygulama adımları ve bulguları aşağıda gösterilmektedir.

- 1) *Kriterlere ait ağırlıkların SF-AHP yöntemi ile elde edilmesi:*
 - a) İlk aşamada karar vericilerin kriterleri [Tablo 5](#)'teki dilsel değerler kullanarak karşılaştırdığı matris değerleri, dilsel değerlere karşılık gelen sayı değerleri kullanılarak tutarlılık analizi [Eşitlik 17, 18](#) ve [19](#) ile yapılmıştır. Tutarlılığı sağlanan alt kriterlerin ve ana kriterlerin, küresel bulanık değerlerini içeren ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuş ve [Tablo 8, 9, 10, 11](#) ile verilmiştir. Tablolardaki U, karar vericiler olan uzmanların cevaplarını ifade etmektedir.

Tablo 8. Maliyet Ana Kriterinin Alt Kriterleri için İkili Karşılaştırmalar Matrisi

<i>U1</i>	M1	M2	<i>U2</i>	M1	M2	<i>U3</i>	M1	M2
M1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	M1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	M1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)
M2	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	M2	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	M2	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)

Tablo 9. Teknik Özellikler Ana Kriterinin Alt Kriterleri için İkili Karşılaştırmalar Matrisi

<i>U1</i>	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.1, 0.9, 0)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.2, 0.8, 0.1)
T2	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.2)
T3	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)
T4	(0.9, 0.1, 0)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
T5	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.2)

Tablo 9. Teknik Özellikler Ana Kriterinin Alt Kriterleri için İkili Karşılaştırmalar Matrisi Devamı

T6	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)
U2	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)
T2	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)
T3	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)
T4	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)
T5	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)
T6	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
U3	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)
T2	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.2, 0.8, 0.1)
T3	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)
T4	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)
T5	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.2, 0.8, 0.1)
T6	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)

Tablo 10. Emniyet Ana Kriterinin Alt Kriterleri için İkili Karşılaştırmalar Matrisi

U1	E1	E2	U2	E1	E2	U3	E1	E2
E1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.1)	E1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	E1	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
E2	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	E2	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	E2	(0.1, 0.9, 0)	(0.5, 0.4, 0.4)

Tablo 11. Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

U1	M	T	E
M	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
T	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)
E	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
U2	M	T	E
M	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.2)
T	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)
E	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
U3	M	T	E
M	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.2)
T	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)
E	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)

b) *İkili karşılaştırmalar matrisinin birleştirilmesi*: Karar vericilerden gelen ikili karşılaştırma matrisleri [Eşitlik 13](#)'teki

SWGM operatörü kullanılarak birleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 12, 13, 14 ve 15 ile verilmiştir.

Tablo 12. Maliyet Ana Kriterinin Alt Kriterleri için Birleştirilmiş İkili Karşılaştırmalar Matrisi

	M1	M2
M1	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.48, 0.53, 0.28)
M2	(0.48, 0.54, 0.26)	(0.50, 0.40, 0.40)

Tablo 13. Teknik Özellikler Ana Kriterinin Alt Kriterleri için Birleştirilmiş İkili Karşılaştırmalar Matrisi

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
T1	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.42, 0.59, 0.27)	(0.29, 0.71, 0.21)	(0.21, 0.80, 0.14)	(0.42, 0.54, 0.33)	(0.39, 0.61, 0.27)
T2	(0.55, 0.46, 0.28)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.29, 0.71, 0.20)	(0.31, 0.68, 0.23)	(0.36, 0.65, 0.23)	(0.35, 0.67, 0.17)
T3	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.52, 0.48, 0.30)	(0.66, 0.35, 0.26)	(0.61, 0.42, 0.23)
T4	(0.76, 0.25, 0.17)	(0.65, 0.31, 0.28)	(0.46, 0.55, 0.30)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.66, 0.34, 0.24)	(0.63, 0.34, 0.29)
T5	(0.56, 0.37, 0.35)	(0.58, 0.44, 0.27)	(0.32, 0.69, 0.24)	(0.33, 0.67, 0.23)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.33, 0.68, 0.20)
T6	(0.54, 0.44, 0.31)	(0.55, 0.49, 0.18)	(0.33, 0.68, 0.20)	(0.36, 0.63, 0.27)	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.50, 0.40, 0.40)

Tablo 14. Emniyet Ana Kriterinin Alt Kriterleri için Birleştirilmiş İkili Karşılaştırmalar Matrisi

	E1	E2
E1	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.7, 0.27, 0.19)
E2	(0.20, 0.80, 0.14)	(0.50, 0.40, 0.40)

Tablo 15. Ana Kriterler için Birleştirilmiş İkili Karşılaştırmalar Matrisi

	M	T	E
M	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.73, 0.29, 0.20)	(0.63, 0.34, 0.29)
T	(0.25, 0.75, 0.17)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.43, 0.55, 0.33)
E	(0.36, 0.63, 0.27)	(0.56, 0.40, 0.34)	(0.50, 0.40, 0.40)

c) *Kriter ağırlıklarının elde edilmesi:* Bu aşamada öncelikle birleştirilmiş matrisler kullanılarak kriterlere ait küresel bulanık ağırlıklar [Eşitlik 12](#)'deki SWAM operatörü uygulanıp belirlenmiştir. Ardından küresel değerler [Eşitlik 22](#)'de verilen skor fonksiyonu ile durulaştırılır ve sütun

toplamının sütun değerlerine bölünmesi ile normalize edilerek yerel ağırlıklar elde edilmiştir. Alt kriterlere ait global ağırlıkları elde etmek için, normalize edilen yerel ağırlıklar ile ana kritere ait yerel ağırlıklar çarpılmıştır.

Tablo16. Kriterlere Ait Ağırlıklar

	Küresel Bulanık Ağırlıklar	Berraklaştırılmış Ağırlıklar	Normalize Yerel Ağırlıklar	Global Ağırlıklar
<i>Maliyet Alt Kriterleri</i>				
M1	(0.49, 0.46, 0.35)	12.99	0.50	0.213
M2	(0.49, 0.46, 0.34)	12.94	0.50	0.212
<i>Teknik Özellikler Alt Kriterleri</i>				
T1	(0.39, 0.59, 0.29)	10.14	0.12	0.03
T2	(0.41, 0.58, 0.27)	10.96	0.13	0.03
T3	(0.62, 0.37, 0.27)	17.35	0.21	0.05

Tablo16. Kriterlere Ait Ağırlıklar Devamı

T4	(0.63, 0.35, 0.28)	17.49	0.21	0.06
T5	(0.46, 0.52, 0.30)	12.21	0.15	0.04
T6	(0.52, 0.48, 0.28)	14.29	0.17	0.05
<i>Emniyet Alt Kriterleri</i>				
E1	(0.66, 0.33, 0.29)	18.27	0.64	0.20
E2	(0.39, 0.57, 0.32)	10.06	0.36	0.11
<i>Ana Kriterler</i>				
M	(0.63, 0.34, 0.30)	17.50	0.43	
T	(0.41, 0.55, 0.33)	10.72	0.26	
E	(0.49, 0.47, 0.34)	12.84	0.31	

2. *Alternatiflerin Değerlendirilmesi:* Kriterlere ait ağırlıklar belirlendikten sonra SF-TOPSIS yöntemi ile karar vericilerden gelen alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi işlemi yapılmıştır. Karar vericilerden gelen puanlama cevaplarını içeren küresel bulanık matrisler Tablo 17, 18 ve 19 ile aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 17. Alternatiflerin Uzman 1 Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

<i>Alternatifler</i>	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
ERJ-145	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)
ERJ-170	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)
ERJ-175	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)
ERJ-190	(0.9, 0.1, 0)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)
ERJ-195	(0.9, 0.1, 0)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)
CRJ-100/200	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)
CRJ-900	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)
CRJ -700	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-145	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.2, 0.8, 0.1)	(0.2, 0.8, 0.1)
ERJ-170	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-175	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-190	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)
ERJ-195	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ-100/200	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)
CRJ-900	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ -700	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)	(0.3, 0.7, 0.2)

Tablo 18. Alternatiflerin Uzman 2 Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)
ERJ-145	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)
ERJ-170	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)
ERJ-175	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)
ERJ-190	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-195	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ-100/200	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)

Tablo 18. Alternatiflerin Uzman 2 Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları Devamı

	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ-900	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ -700	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-145	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.4, 0.6, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-170	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-175	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-190	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-195	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ-100/200	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ-900	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ -700	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)

Tablo 19. Alternatiflerin Uzman 3 Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.9, 0.1, 0)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-145	(0.9, 0.1, 0)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-170	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-175	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-190	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
ERJ-195	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ-100/200	(0.9, 0.1, 0)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ-900	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
CRJ -700	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.5, 0.4, 0.4)	(0.9, 0.1, 0)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-145	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-170	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-175	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-190	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
ERJ-195	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ-100/200	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.6, 0.4, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.2)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)
CRJ-900	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)	(0.9, 0.1, 0)	(0.9, 0.1, 0)	(0.8, 0.2, 0.1)

3. *Cevapların Birleştirilmesi:* Cevaplar [Eşitlik 12](#)'de verilen SWAM ve [Eşitlik 13](#)'te verilen SWGM operatörleri arasındaki sıralama farkı gösterilmek üzere her ikisi de kullanılarak birleştirilmiş ve Tablo 20 ve 21 ile gösterilmiştir.

Tablo 20. Cevapların SWAM Operatörü Kullanılarak Birleştirilmesi

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.78, 0.23, 0.17)	(0.65, 0.33, 0.27)	(0.47, 0.46, 0.37)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.76, 0.23, 0.21)
ERJ-145	(0.78, 0.23, 0.17)	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.56, 0.42, 0.30)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.80, 0.21, 0.14)
ERJ-170	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.71, 0.29, 0.20)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.78, 0.23, 0.17)
ERJ-175	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.68, 0.33, 0.20)	(0.44, 0.52, 0.34)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.75, 0.26, 0.17)
ERJ-190	(0.85, 0.16, 0.12)	(0.78, 0.23, 0.13)	(0.44, 0.52, 0.34)	(0.58, 0.36, 0.34)	(0.78, 0.23, 0.13)
ERJ-195	(0.85, 0.16, 0.12)	(0.78, 0.23, 0.13)	(0.44, 0.52, 0.34)	(0.58, 0.36, 0.34)	(0.83, 0.18, 0.11)
CRJ-100/200	(0.76, 0.25, 0.20)	(0.65, 0.33, 0.27)	(0.47, 0.46, 0.37)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.76, 0.23, 0.21)
CRJ-900	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.80, 0.20, 0.14)
CRJ -700	(0.78, 0.23, 0.17)	(0.71, 0.29, 0.20)	(0.51, 0.46, 0.34)	(0.61, 0.36, 0.30)	(0.80, 0.20, 0.14)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.61, 0.36, 0.30)	(0.63, 0.38, 0.23)	(0.70, 0.29, 0.24)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.84, 0.16, 0.07)
ERJ-145	(0.61, 0.36, 0.30)	(0.63, 0.38, 0.23)	(0.71, 0.29, 0.20)	(0.82, 0.20, 0.03)	(0.71, 0.32, 0.10)
ERJ-170	(0.75, 0.25, 0.17)	(0.73, 0.25, 0.21)	(0.82, 0.18, 0.11)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.84, 0.16, 0.07)
ERJ-175	(0.75, 0.25, 0.17)	(0.73, 0.25, 0.21)	(0.84, 0.16, 0.07)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.84, 0.16, 0.07)
ERJ-190	(0.86, 0.14, 0.08)	(0.79, 0.20, 0.18)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.82, 0.19, 0.07)	(0.71, 0.30, 0.13)
ERJ-195	(0.86, 0.14, 0.08)	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.84, 0.16, 0.07)
CRJ-100/200	(0.57, 0.40, 0.33)	(0.57, 0.40, 0.33)	(0.64, 0.36, 0.27)	(0.82, 0.19, 0.07)	(0.71, 0.30, 0.13)
CRJ-900	(0.80, 0.20, 0.14)	(0.84, 0.16, 0.07)	(0.87, 0.13, 0.05)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.84, 0.16, 0.07)
CRJ -700	(0.74, 0.26, 0.17)	(0.77, 0.23, 0.13)	(0.77, 0.23, 0.13)	(0.82, 0.19, 0.07)	(0.71, 0.30, 0.13)

Tablo 21. Cevapların SWGM Operatörü Kullanılarak Birleştirilmesi

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.72, 0.30, 0.22)	(0.63, 0.34, 0.29)	(0.46, 0.48, 0.37)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.68, 0.30, 0.27)
ERJ-145	(0.72, 0.30, 0.22)	(0.70, 0.30, 0.20)	(0.52, 0.46, 0.32)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.76, 0.25, 0.17)
ERJ-170	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.72, 0.30, 0.22)
ERJ-175	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.61, 0.42, 0.23)	(0.43, 0.55, 0.33)	(0.50, 0.40, 0.40)	(0.63, 0.41, 0.23)
ERJ-190	(0.79, 0.25, 0.19)	(0.66, 0.39, 0.21)	(0.43, 0.55, 0.33)	(0.56, 0.37, 0.35)	(0.66, 0.39, 0.21)
ERJ-195	(0.79, 0.25, 0.19)	(0.66, 0.39, 0.21)	(0.43, 0.55, 0.33)	(0.56, 0.37, 0.35)	(0.69, 0.38, 0.21)
CRJ-100/200	(0.69, 0.34, 0.25)	(0.63, 0.34, 0.29)	(0.46, 0.48, 0.37)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.68, 0.30, 0.27)
CRJ-900	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.76, 0.27, 0.19)
CRJ -700	(0.72, 0.30, 0.22)	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.49, 0.48, 0.34)	(0.59, 0.37, 0.32)	(0.76, 0.27, 0.19)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.59, 0.37, 0.32)	(0.58, 0.44, 0.25)	(0.65, 0.31, 0.28)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.83, 0.17, 0.08)
ERJ-145	(0.59, 0.37, 0.32)	(0.58, 0.44, 0.25)	(0.70, 0.31, 0.22)	(0.55, 0.54, 0.08)	(0.50, 0.55, 0.11)
ERJ-170	(0.73, 0.29, 0.20)	(0.68, 0.29, 0.26)	(0.80, 0.22, 0.13)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.83, 0.17, 0.08)
ERJ-175	(0.73, 0.29, 0.20)	(0.68, 0.29, 0.26)	(0.83, 0.17, 0.08)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.83, 0.17, 0.08)
ERJ-190	(0.83, 0.19, 0.12)	(0.71, 0.27, 0.26)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.62, 0.45, 0.15)	(0.58, 0.47, 0.16)
ERJ-195	(0.83, 0.19, 0.12)	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.83, 0.17, 0.08)
CRJ-100/200	(0.56, 0.40, 0.34)	(0.56, 0.40, 0.34)	(0.63, 0.37, 0.27)	(0.62, 0.45, 0.15)	(0.58, 0.47, 0.16)
CRJ-900	(0.76, 0.27, 0.19)	(0.83, 0.17, 0.08)	(0.87, 0.14, 0.06)	(0.90, 0.10, 0.00)	(0.83, 0.17, 0.08)
CRJ -700	(0.73, 0.27, 0.17)	(0.77, 0.24, 0.14)	(0.77, 0.24, 0.14)	(0.62, 0.45, 0.15)	(0.58, 0.47, 0.16)

4. Birleştirilmiş matrislerin ağırlıklandırılması: Birleştirilmiş matrisler ile [Tablo 16](#)'da verilen kriterlere ait küresel

bulanık ağırlıklar [Eşitlik 9](#)'da verilen çarpma fonksiyonu ile çarpılmıştır.

Tablo 22. SWAM Operatörüne Bağlı Ağırlıklı Birleştirilmiş Matris

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.38, 0.50, 0.36)	(0.32, 0.55, 0.39)	(0.18, 0.75, 0.38)	(0.21, 0.69, 0.35)	(0.48, 0.43, 0.32)
ERJ-145	(0.38, 0.50, 0.36)	(0.34, 0.53, 0.37)	(0.22, 0.72, 0.35)	(0.21, 0.69, 0.35)	(0.5, 0.42, 0.30)
ERJ-170	(0.40, 0.49, 0.36)	(0.35, 0.53, 0.37)	(0.20, 0.75, 0.36)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.49, 0.43, 0.31)
ERJ-175	(0.40, 0.49, 0.36)	(0.33, 0.55, 0.36)	(0.17, 0.79, 0.36)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.47, 0.45, 0.30)
ERJ-190	(0.42, 0.48, 0.36)	(0.38, 0.51, 0.35)	(0.17, 0.79, 0.36)	(0.24, 0.65, 0.36)	(0.49, 0.43, 0.29)
ERJ-195	(0.42, 0.48, 0.36)	(0.38, 0.51, 0.35)	(0.17, 0.79, 0.36)	(0.24, 0.65, 0.36)	(0.52, 0.41, 0.29)
CRJ-100/200	(0.37, 0.51, 0.37)	(0.32, 0.55, 0.39)	(0.18, 0.75, 0.38)	(0.21, 0.69, 0.35)	(0.48, 0.43, 0.32)
CRJ-900	(0.40, 0.49, 0.36)	(0.39, 0.50, 0.36)	(0.20, 0.75, 0.36)	(0.21, 0.69, 0.35)	(0.50, 0.42, 0.30)
CRJ -700	(0.38, 0.50, 0.36)	(0.35, 0.53, 0.37)	(0.20, 0.75, 0.36)	(0.25, 0.65, 0.34)	(0.50, 0.42, 0.30)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.39, 0.49, 0.38)	(0.29, 0.61, 0.33)	(0.36, 0.54, 0.33)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)
ERJ-145	(0.39, 0.49, 0.38)	(0.29, 0.61, 0.33)	(0.37, 0.54, 0.31)	(0.54, 0.38, 0.29)	(0.28, 0.62, 0.32)
ERJ-170	(0.47, 0.43, 0.31)	(0.34, 0.57, 0.33)	(0.43, 0.50, 0.29)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)
ERJ-175	(0.47, 0.43, 0.31)	(0.34, 0.57, 0.33)	(0.44, 0.50, 0.28)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)
ERJ-190	(0.54, 0.38, 0.29)	(0.36, 0.55, 0.33)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.54, 0.37, 0.30)	(0.28, 0.62, 0.32)
ERJ-195	(0.54, 0.38, 0.29)	(0.37, 0.55, 0.31)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)
CRJ-100/200	(0.36, 0.52, 0.39)	(0.26, 0.62, 0.38)	(0.33, 0.57, 0.34)	(0.54, 0.37, 0.30)	(0.28, 0.62, 0.32)
CRJ-900	(0.51, 0.40, 0.30)	(0.38, 0.54, 0.30)	(0.46, 0.49, 0.28)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)
CRJ -700	(0.47, 0.43, 0.31)	(0.35, 0.56, 0.31)	(0.40, 0.52, 0.29)	(0.54, 0.37, 0.30)	(0.28, 0.62, 0.32)

Tablo 23. SWGM Operatörüne Bağlı Ağırlıklı Birleştirilmiş Matris

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3
ERJ-135	(0.36, 0.53, 0.38)	(0.31, 0.55, 0.40)	(0.18, 0.71, 0.37)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.42, 0.47, 0.36)
ERJ-145	(0.36, 0.53, 0.38)	(0.34, 0.53, 0.37)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.48, 0.44, 0.30)
ERJ-170	(0.37, 0.52, 0.37)	(0.34, 0.54, 0.37)	(0.19, 0.71, 0.36)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.45, 0.47, 0.32)
ERJ-175	(0.37, 0.52, 0.37)	(0.30, 0.59, 0.36)	(0.17, 0.74, 0.35)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.39, 0.53, 0.32)
ERJ-190	(0.39, 0.51, 0.37)	(0.32, 0.58, 0.36)	(0.17, 0.74, 0.35)	(0.23, 0.66, 0.37)	(0.41, 0.52, 0.31)
ERJ-195	(0.39, 0.51, 0.37)	(0.32, 0.58, 0.36)	(0.17, 0.74, 0.35)	(0.23, 0.66, 0.37)	(0.43, 0.51, 0.31)
CRJ-100/200	(0.34, 0.55, 0.39)	(0.31, 0.55, 0.40)	(0.18, 0.71, 0.37)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.42, 0.47, 0.36)
CRJ-900	(0.37, 0.52, 0.37)	(0.37, 0.52, 0.37)	(0.19, 0.71, 0.36)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.47, 0.45, 0.32)
CRJ -700	(0.36, 0.53, 0.38)	(0.34, 0.54, 0.37)	(0.19, 0.71, 0.36)	(0.24, 0.66, 0.35)	(0.47, 0.45, 0.32)
	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	(0.37, 0.50, 0.38)	(0.27, 0.64, 0.34)	(0.34, 0.55, 0.35)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)
ERJ-145	(0.37, 0.50, 0.38)	(0.27, 0.64, 0.34)	(0.36, 0.55, 0.32)	(0.36, 0.61, 0.26)	(0.20, 0.73, 0.28)
ERJ-170	(0.46, 0.44, 0.32)	(0.31, 0.58, 0.35)	(0.42, 0.51, 0.29)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)
ERJ-175	(0.46, 0.44, 0.32)	(0.31, 0.58, 0.35)	(0.43, 0.50, 0.28)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)
ERJ-190	(0.52, 0.40, 0.29)	(0.33, 0.57, 0.35)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.41, 0.54, 0.29)	(0.22, 0.69, 0.31)
ERJ-195	(0.52, 0.40, 0.29)	(0.35, 0.57, 0.33)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)
CRJ-100/200	(0.36, 0.52, 0.40)	(0.26, 0.62, 0.38)	(0.33, 0.58, 0.34)	(0.41, 0.54, 0.29)	(0.22, 0.69, 0.31)
CRJ-900	(0.48, 0.43, 0.32)	(0.38, 0.54, 0.30)	(0.45, 0.49, 0.28)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)
CRJ -700	(0.46, 0.44, 0.31)	(0.35, 0.56, 0.31)	(0.40, 0.52, 0.29)	(0.41, 0.54, 0.29)	(0.22, 0.69, 0.31)

5. Ağırlıklı Matrislerin Durulaştırılması ve SF-PIS ve SF-NIS noktalarının belirlenmesi: Ağırlıklı matrisler [Eşitlik](#)

14'te belirtilen skor fonksiyonu kullanılarak durulaştırılmıştır ve pozitif ideal çözüm olan PIS ve negatif ideal

çözüm olan noktaları bulunmuştur. Tablo 24 ve 26 ile ifade edilen durulaştırılmış matrislerdeki yeşil hücreler PIS, pembe hücreler ise NIS noktalarını ifade etmektedir. Tablo 25 ve 27, kriterlerin fayda veya maliyet olmasını göstermektedir. Ağırlıklı birleştirilmiş tablolardaki PIS ve NIS noktalarına karşılık gelen ve SF-PIS [Eşitlik 33](#) ve SF-NIS [Eşitlik 34](#) kullanılarak hesaplanmıştır. Söz

gelimi Tablo 24'te M1 kriteri için belirlenen SF-PIS değeri, Tablo 22'de verilen ağırlıklı matristeki Bombardier CRJ-100/200 uçak modelinin M1 için hesaplanan küresel bulanık değerine karşılık gelmektedir. Aynı şekilde SF-NIS değeri, Embraer ERJ-190 uçak modelinin M1 için hesaplanan ağırlıklı küresel bulanık değeridir.

Tablo 24. SWAM Operatörüne Bağlı Skor fonksiyonu ile Durulaştırma

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	-0,019	-0,019	-0,096	-0,092	0,012	-0,013	-0,078	-0,043	0,087	-0,067
ERJ-145	-0,019	-0,028	-0,124	-0,092	0,025	-0,013	-0,078	-0,048	0,055	-0,094
ERJ-170	-0,017	-0,026	-0,123	-0,038	0,016	0,013	-0,054	-0,026	0,087	-0,067
ERJ-175	-0,017	-0,034	-0,155	-0,038	0,007	0,013	-0,054	-0,021	0,087	-0,067
ERJ-190	-0,012	-0,023	-0,155	-0,070	0,020	0,056	-0,049	-0,006	0,055	-0,087
ERJ-195	-0,012	-0,023	-0,155	-0,070	0,038	0,056	-0,053	-0,006	0,087	-0,067
CRJ-100/200	-0,020	-0,019	-0,096	-0,092	0,012	-0,014	-0,044	-0,054	0,055	-0,087
CRJ-900	-0,017	-0,018	-0,123	-0,092	0,027	0,032	-0,050	-0,013	0,087	-0,067
CRJ -700	-0,019	-0,026	-0,123	-0,087	0,027	0,010	-0,060	-0,038	0,055	-0,087

Tablo 25. SWAM Operatörüne Bağlı SF-PIS ve SF-NIS Noktaları

	M1 (Maliyet)	M2 (Maliyet)	T1 (Fayda)	T2 (Maliyet)	T3 (Maliyet)
SF-PIS	(0.37, 0.51, 0.37)	(0.33, 0.55, 0.36)	(0.18, 0.75, 0.38)	(0.21, 0.69, 0.35)	(0.47, 0.45, 0.30)
SF-NIS	(0.42, 0.48, 0.36)	(0.39, 0.50, 0.36)	(0.17, 0.79, 0.36)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.52, 0.41, 0.29)
	T4 (Fayda)	T5 (Fayda)	T6 (Fayda)	E1 (Maliyet)	E2 (Maliyet)
SF-PIS	(0.54, 0.38, 0.29)	(0.26, 0.62, 0.38)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.54, 0.38, 0.29)	(0.28, 0.62, 0.32)
SF-NIS	(0.36, 0.52, 0.39)	(0.29, 0.61, 0.33)	(0.33, 0.57, 0.34)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.33, 0.58, 0.32)

Tablo 26. SWGM Operatörüne Bağlı Skor fonksiyonu ile Durulaştırma

Alternatifler	M1	M2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	E1	E2
ERJ-135	-0,023	-0,014	-0,075	-0,102	-0,007	-0,012	-0,090	-0,040	0,087	-0,068
ERJ-145	-0,023	-0,028	-0,100	-0,102	0,010	-0,012	-0,090	-0,051	-0,112	-0,194
ERJ-170	-0,022	-0,027	-0,096	-0,038	-0,004	0,004	-0,048	-0,034	0,087	-0,068
ERJ-175	-0,022	-0,048	-0,120	-0,038	-0,039	0,004	-0,048	-0,024	0,087	-0,068
ERJ-190	-0,020	-0,047	-0,120	-0,062	-0,033	0,041	-0,047	-0,006	-0,047	-0,136
ERJ-195	-0,020	-0,047	-0,120	-0,062	-0,027	0,041	-0,059	-0,006	0,087	-0,068
CRJ-100/200	-0,023	-0,014	-0,075	-0,102	-0,007	-0,013	-0,042	-0,055	-0,047	-0,136
CRJ-900	-0,022	-0,024	-0,096	-0,102	0,006	0,011	-0,053	-0,016	0,087	-0,068
CRJ -700	-0,023	-0,027	-0,096	-0,082	0,006	0,007	-0,061	-0,040	-0,047	-0,136

Tablo 27. SWGM Operatörüne Bağlı SF-PIS ve SF-NIS Noktaları

	M1 (Maliyet)	M2 (Maliyet)	T1 (Fayda)	T2 (Maliyet)	T3 (Maliyet)
SF-PIS	(0.36, 0.53, 0.38)	(0.30, 0.59, 0.36)	(0.18, 0.71, 0.37)	(0.20, 0.70, 0.35)	(0.39, 0.53, 0.32)
SF-NIS	(0.39, 0.51, 0.37)	(0.31, 0.55, 0.40)	(0.17, 0.74, 0.35)	(0.21, 0.67, 0.40)	(0.48, 0.44, 0.30)
	T4 (Fayda)	T5 (Fayda)	T6 (Fayda)	E1 (Maliyet)	E2 (Maliyet)
SF-PIS	(0.52, 0.40, 0.29)	(0.26, 0.62, 0.38)	(0.47, 0.48, 0.27)	(0.36, 0.61, 0.26)	(0.20, 0.73, 0.28)
SF-NIS	(0.36, 0.52, 0.40)	(0.27, 0.64, 0.34)	(0.33, 0.58, 0.34)	(0.59, 0.34, 0.29)	(0.32, 0.59, 0.32)

6. SF-PIS ve SF-NIS ile olan uzaklıklar ile SF-NIS ile olan maksimum mesafe ve SF-PIS ile olan minimum mesafe belirlenmesi: [Eşitlik 35](#) ile SF-PIS ile olan mesafe ve [Eşitlik 36](#) ile ise SF-NIS ile olan mesafe ölçülmüştür. Ölçülen SF-PIS mesafe değerlerinden en küçükü olan SF-PIS ile

olan minimum mesafe ($D_{\min}(X_i, X^+)$) [Eşitlik 37](#) kullanılarak ölçülmüştür. Aynı şekilde SF-NIS mesafe değerlerinden en büyüğünü ifade eden SF-NIS ile olan maksimum mesafe ($D_{\max}(X_i, X^-)$) ise [Eşitlik 38](#) ile hesaplanmıştır.

Tablo 28. SWAM Operatörüne Bağlı SF-PIS ve SF-NIS ile Olan Uzaklıklar

	D(X_i, X⁺)	D(X_i, X⁻)
ERJ-135	0,062	0,108
ERJ-145	0,058	0,124
ERJ-170	0,042	0,125
ERJ-175	0,041	0,139
ERJ-190	0,040	0,139
ERJ-195	0,048	0,102
CRJ-100/200	0,069	0,139
CRJ-900	0,050	0,128
CRJ -700	0,044	0,530
D_{min}(X_i, X⁺)	0,040	
D_{max}(X_i, X⁻)		0,530

Tablo 29. SWGM Operatörüne Bağlı SF-PIS ve SF-NIS ile Olan Uzaklıklar

	D(X_i, X⁺)	D(X_i, X⁻)
ERJ-135	0,110	0,026
ERJ-145	0,064	0,095
ERJ-170	0,100	0,049
ERJ-175	0,096	0,058
ERJ-190	0,037	0,100
ERJ-195	0,097	0,073
CRJ-100/200	0,073	0,074
CRJ-900	0,106	0,067
CRJ -700	0,056	0,087

Tablo 29. SWGM Operatörüne Bağlı SF-PIS ve SF-NIS ile Olan Uzaklıklar Devamı

$D_{\min}(X_i, X^+)$	0,037
$D_{\max}(X_i, X^-)$	0,100

7. Alternatiflerin göreli yakınlıklarının/yakınlık katsayılarının hesaplanması ve sıralanması: Son aşama olan bu aşama ile uçak alternatifleri arasında nihai sıralamayı sağlamak

amacıyla [Eşitlik 39](#) ile alternatiflerin göreli yakınlıkları hesaplanır. Elde edilen değerler sonucunda, maksimum değere sahip alternatif uçak seçim tercihini vermektedir.

Tablo 30. Alternatiflerin SWAM Operatörüne Bağlı Yakınlık Katsayıları ve Sıralaması

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları	Sıralama
ERJ-135	1,33	2
ERJ-145	1,20	3
ERJ-170	0,80	6
ERJ-175	0,77	7
ERJ-190	0,74	8
ERJ-195	1,01	4
CRJ-100/200	1,46	1
CRJ-900	1,00	5
CRJ -700	0,10	9

Tablo 31. Alternatiflerin SWGM Operatörüne Bağlı Yakınlık Katsayıları ve Sıralaması

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları	Sıralama
ERJ-135	2,69	1
ERJ-145	0,77	7
ERJ-170	2,18	2
ERJ-175	2,00	4
ERJ-190	0,00	9
ERJ-195	1,86	5
CRJ-100/200	1,21	6
CRJ-900	2,16	3
CRJ -700	0,64	8

5. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye’de bölgesel havacılık kurulması söz konusu olduğunda kullanılabilir uçak tiplerine dair bir araştırma amaçlanmıştır. Uçak tipleri olarak 9 tane jet motorlu uçak seçilmiştir. Uçak seçiminde etkili olan kriterler, 3 ana kriter altında tanımlı 10 alt

kriter olarak belirlenmiştir. Araştırmada, bulanık kümelerle üç boyutlu yeni bir yaklaşım olan Küresel Bulanık Kümeler kullanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS, bu yaklaşım ile entegre edilerek araştırmanın yöntemi olarak kullanılmıştır. Hibrit karar

verme yöntemi olarak SF-AHP ve SF-TOPSIS ile uçak seçimi yapılmıştır. Yapısı itibarıyla geometrik ortalamanın küresel kümelerdeki karşılığı olan SWGM ve aritmetik ortalama olan SWAM ile ayrı ayrı işlem adımları gerçekleştirilmiş ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Araştırmada kullanılan SWAM ve SWGM operatörleri baz alınarak yapılan sıralama, önemli ölçüde farklı bulunmuştur. SWAM operatörü ile uçak tipi alternatiflerinin tercih edilebilirlik sıralaması; CRJ-100/200, ERJ-135, ERJ-145, ERJ-195, CRJ-900, ERJ-170, ERJ-175, ERJ-190 ve CRJ -700 olarak saptanmıştır. Böylece SWAM operatörüne bağlı sıralamada Bombardier CRJ-100/200 model uçağı bölgesel havacılık için en avantajlı uçak olarak belirlenirken, yine Bombardier markalı uçaklardan CRJ-700 en sonda yer almaktadır. SWGM operatörü ile uçak tipi alternatiflerinin tercih edilebilirlik sıralaması ise; ERJ-135, ERJ-170, CRJ-900, ERJ-175, ERJ-195, CRJ-100/200, ERJ-145, CRJ -700 ve ERJ-190 şeklinde belirlenmiştir. SWAM sıralamasında ikinci alternatif olarak yer alan Embraer ERJ-135 model uçak, SWGM operatörü baz alınarak en avantajlı uçak tipi olarak belirlenmiştir. Yine Embraer ERJ-190 tipi uçak, Türkiye bölgesel havacılığı açısından en avantajsız model bulunmuştur. Bombardier ve Embraer üreticilerine ait uçak alternatifleri, sahip oldukları koltuk kapasitesi, MTOW gibi teknik özellikler ile her modelde önceki modeli tamamlar niteliktedir. Bu anlamda birbirinin üst modeli niteliğindeki uçak modellerinin, hizmet verilecek bölgenin havalimanına, nüfusuna ve talebine göre değişiklikler göstermesi kaçınılmazdır. Araştırmada uçak seçimine odaklanılması nedeniyle bu etkenler başlıca başka bir çalışmanın konusu olarak düşünülebilir.

Kriterler açısından yapılan değerlendirmede, maliyet ana kriterinin alt kriterleri olan satın alma maliyeti ve koltuk/km maliyeti arasında alternatifler seçiminde en etkili olan satın alma maliyeti olarak saptanmıştır. Teknik özellikler ana kriteri alt kriterlerinden MTOW sonuç üzerinde en etkili olarak saptanırken çevresel etkinlik, bölgesel uçak seçiminde en az etkili kriter olarak belirlenmiştir. Emniyet ana kriteri alt kriterleri arasında kaza/kırım sayısı, teknik aksaklıktan daha etkili olarak belirlenmiştir. Ana kriterlerin sıralanmasında bölgesel havayolu işletmeleri açısından uçak seçiminde

en etkili kriter maliyet olarak belirlenirken emniyet ikinci ve teknik özellikler ise üçüncü sırada belirlenmiştir. Söz konusu sıralama, havacılığın giderler ve maliyetlere önemli ölçüde bağlı bir sektör olmasının bir kere daha altını çizmektedir. Araştırma Türkiye kapsamında değerlendirilmiştir. Bu anlamda uçak seçiminde etkili ikinci sıradaki kriterin emniyet olması, halkın havacılık algısını göstermektedir. Nitekim dünya ortalamasına oranla havayolu ulaşımına talebin düşük olmasının nedenleri arasında, ülkenin refah düzeyi yanında bu ulaşımına karşı duyulan emniyet ve güven algısı da ilk sıralarda yer almaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akyurt, İ. Z., & Kabadayı, N.** (2020). Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkiler Analizi Yöntemleri ile Kargo Uçak Tipi Seçimi: Bir Türk Havayolu Firmasında Uygulama. *Journal of Yaşar University*, 15(57), 38-55.
- Atanassov, K. T.** (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 20(1), 87- 96.
- Atanassov, K. T.** (1999). Other extensions of intuitionistic fuzzy sets. In *Intuitionistic Fuzzy Sets, Physica, Heidelberg*, 179-198.
- Aytürk, S.** (2006). Askeri Savunma Sistemlerinde Analitik Hiyerarşi ve Analitik Şebeke Prosesi ile Hafif Makineli Tüfek Seçimi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara*, 142 s.
- Ayyıldız, E., & Gumus, A. T.** (2020). A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36109-36120.

- Cuong, B. C.** (2014). Picture fuzzy sets. *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 30(4), 409-420.
- Dožić, S., & Kalić, M.** (2014). An AHP approach to aircraft selection process. *Transportation Research Procedia*, 3, 165-174.
- Garibaldi, J. M., & Ozen, T.** (2007). Uncertain fuzzy reasoning: a case study in modelling expert decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1), 16-30.
- Gomes, L. F. A. M., de Mattos Fernandes, J. E., & de Mello, J. C. C. S.** (2014). A fuzzy stochastic approach to the multicriteria selection of an aircraft for regional chartering. *Journal of Advanced Transportation*, 48(3), 223-237.
- Grattan-Guinness, I.** (1976). Fuzzy membership mapped onto interval and many valued quantities. *Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik*, 22(1), 149-160.
- Gün, M.** (2014). "Borajet Turboprop Uçakları Neden Satıyor". *Zaman*. Erişim Adresi: <http://www.airkule.com/haber/BORAJET-TURBOPROP-UCAKLARI-NEDEN-SATIYOR/18386>
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C.** (2019). Spherical fuzzy sets and decision making applications. *In International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 979-987. Springer, Cham.
- Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C.** (2020). A novel spherical fuzzy QFD method and its application to the linear delta robot technology development. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103348.
- Gürün, A.** (2015). Sivil havacılık sektöründe iş jeti modeli seçimi: AHP yöntemi uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi*.
- Herdem, M.** (2017). "Borajet Bombardier'e döner mi?" Erişim Adresi: <https://www.airporthaber.com/kose-yazilari/borajet--bombardiere-doner-mi.html>
- ICAO,** (2016). Manual on the Regulation of International Air Transport, Chapter 5.1-Air Carriers
- Inan, T. T.** (2019) Havayollarında Filo Planlaması Doğrultusunda Uygulanan Stratejiler ve Üçlü Filo Planlama Modelinin İncelenmesi. *Press Academia Procedia*, 9(1), 144-149.
- İmren, E.** (2011). Mobilya endüstrisinde analitik hiyerarşi prosesi (ahp) yöntemi ile kuruluş yeri seçimi. *Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Jahn, K. U.** (1975). Intervall-wertige Mengen. *Mathematische Nachrichten*, 68(1), 115-132.
- Kahraman, C., & Gündoğdu, F. K.** (2020). Decision making with spherical fuzzy sets: theory and applications, *Springer Nature*, 392.
- Kiracı, K., & Bakır, M.** (2018). Application of commercial aircraft selection in aviation industry through multi-criteria decision making methods. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(4), 307-332.
- Kutlu Gündoğdu, F. & Kahraman, C.** (2020). A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application.
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C.** (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, 36(1), 337-352.
- Kutlu Gündoğdu, F.** (2019). Generalization of intuitionistic, pythagorean, and neutrosophic fuzzy sets: spherical fuzzy sets and decision making. *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Mathew, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J.** (2020). A novel approach integrating AHP and TOPSIS under spherical fuzzy sets for advanced manufacturing system selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 96.
- Oktal, H., & Küçükönel, H.** (2007). Dünyada Bölgesel Hava Taşımacılığı ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 383-394.
- Otay, I., Kahraman, C., Öztayşi, B., & Onar, S. Ç.** (2020). A novel single-valued spherical fuzzy AHP-WASPAS methodology. *Fuzzy Logic and Intelligent Technologies in Nuclear Science*.
- Ozdemir, Y., Basligil, H., & Karaca, M.** (2011). Aircraft selection using analytic network process: a case for Turkish airlines. *In Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE)*, 8, 9-13

- Oztaysi, B., Onar, S. C., & Kahraman, C.** (2020). A dynamic pricing model for location based systems by using spherical fuzzy AHP scoring. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, (Preprint)*, 1-10
- RAA,** (2011). RAA Annual Report. ABD: Reggional Airlines Association
- Saaty, T. L.** (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855.
- Sambuc, R.** (1975). Function Φ -Flous, Application a l'aide au Diagnostic en Pathologie Thyroïdienne. University of Marseille.
- Sarılgan, A. E.** (2007). Bölgesel Havayolu Taşımacılığı ve Türkiye’de Bölgesel Havayolu Taşımacılığının Gelişmesi İçin Yapılması Gerekenler. *Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.*
- Semercioğlu, H., & Özkoç, H.** (2019). Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Desteklenmiş Sosyal Seçim Teorisi: Havayollarında Uçak Seçim Süreci. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 20(44), 67-92.
- Sun, X., Gollnick, V., & Stumpf, E.** (2011). Robustness Consideration in Multi-Criteria Decision Making to an Aircraft Selection Problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 18(1-2), 55-64.
- Torra, V.** (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.
- Tunç, A.** (2012). Türkiye’de Bölgesel Havayolu Şirketi Kurulması. *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.*
- Wang, T. C., & Chang, T. H.** (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.
- Yager, R. R.** (1986). On the theory of bags. *Int. Jou of General System*, 13(1), 23- 37.
- Yager, R. R.** (2013). Pythagorean fuzzy subsets. *Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting*, 57-61, Edmonton, Canada.
- Yager, R. R.** (2016). Generalized orthopair fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230.
- Yeh, C. H., & Chang, Y. H.** (2009). Modeling subjective evaluation for fuzzy group multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 194(2), 464-473.
- Yılmaz, S.** (2006). Uçak seçim kriterlerinin değerlendirilmesinde AHP ve bulanık AHP Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.*
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A.** (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- Zhang, X., & Xu, Z.** (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061-1078.

Derleme makale

Elektrikli araç batarya yönetim sistemleri için hücre eşitleme yöntemleri

Yusuf Hançar¹, Habib Kaymaz,^{2*}

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Mercedes Benz Türk AŞ, Otobüs Geliştirme, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar: habib.kaymaz@daimler.com

DOI:10.51513/jitsa.897126

Özet: Bu çalışmada, elektrikli araç batarya sistemleri için hücre dengeleme sistemleri incelenmiştir. Elektrikli araçlarda kullanılan teknolojinin temel bileşenleri; güç sistemleri, kontrol elektroniği ve araca enerji sağlayan batarya paketidir. Bu batarya paketlerinde kullanılan piller ihtiyaca ve üretimine göre çeşitlilik arz etmektedir. Son yıllardaki gelişimi ve artan talep yoğunluğu ile elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve bu bataryaları yöneten sistemler otomotiv teknolojileri içerisinde ön plana çıkmaktadır. Çalışmada, elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan lityum bataryalar ile batarya yönetim sistemlerinin önemi ve özellikleri incelenmiştir. Bunların yanı sıra, bataryanın ömrünü etkileyen faktörlerden biri olan grup içi hücre gerilimlerinin farklı olmasının nedenleri ve sonuçları incelenerek eşitsizliği gidermek için uygulanan pasif ve aktif eşitleme (dengeleme) sistemleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Pasif hücre dengeleme sistemlerinde kapasitesi yüksek hücredeki fazla enerji bir direnç üzerinden ısı enerjisi olarak paketten atılmaktadır. Aktif hücre dengeleme sistemlerinde ise enerji, yüksek gerilimli hücreden düşük gerilimli olan hücreye transfer edilmekte ve verim yükseltilmektedir. İlave olarak, bu dengeleme sistemlerine ait yöntemler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batarya, batarya yönetim sistemi, hücre eşitleme, aktif batarya dengeleme, pasif batarya dengeleme

Cell equalization methods for electric vehicle battery management systems

Abstract: In this study, cell balancing systems for electric vehicle battery systems were investigated. The basic components of the technology used in electric vehicles are the power system and control electronics and the battery pack that provides energy to the vehicle. The batteries used in these battery packs vary according to the requirement and production. With the development and increasing demand intensity in recent years, the batteries used in electric vehicles and the systems that manage these batteries stand out in automotive technologies. In the study, the importance and properties of lithium batteries and battery management systems, which are widely used in electric vehicles, have been examined. In addition to these, the reasons and results of the differences in cell voltages within the group, which is one of the factors affecting the life of the battery, were examined and the passive and active equalization (balancing) systems applied to eliminate the inequality were analyzed in detail. In passive cell balancing systems, the excess energy in the cell with a high capacity is dissipated as heat energy through a resistance. In the active cell balancing systems, energy is transferred from the high voltage cell to the low voltage cell and the efficiency is increased. Furthermore, the methods of these balancing systems are analysed comparatively.

Key words: Battery, battery management system, cell equalization, active battery balancing, passive battery balancing

* Corresponding author. Tel.: +0212 6227000

E-mail address: habib.kaymaz@daimler.com

ORCID: 0000-0002-0469-5052; 0000-0002-8338-004X (in hierarchical order)

Received 15 March 2021; accepted 28 April 2021

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Sera gazı emisyonlarını azaltma ihtiyacı ve fosil yakıt rezervlerinin azalması çevresel olarak sürdürülebilir alternatif sürüş sistemlerine olan talebi arttırmaktadır. 2030 iklim hedefleri kapsamında birçok ülkede, konvansiyonel araçların üretimi, satışı ve nihai aşamada kullanımının yasaklanması tartışılan ve yakın bir gelecekte planlanan bir konudur (Enrique, 2020). Ülkemizdeyse teşviklere rağmen elektrikli araç sayısı, menzilin düşük olması ve şarj altyapı yetersizliği sebebiyle arzu edilen seviyenin altında kalmıştır (TEHAD, 2020). Ülkemizde elektrikli araç sayısının yerli araç girişimiyle (TOGG) artacağı düşünülmektedir.

Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek saklayan bataryalar, elektrikli araçlarda enerjiyi depolamak için kullanılan en önemli tekniklerden biridir. Ancak çevreci sloganlarla ortaya çıkan elektrikli araçların çevreye hiç zararının olmadığını söylemek mümkün değildir. Elektrikli araçların çevresel etkilerinin belirlenmesinde üretim ve kullanım sonrası sonuçların belirlenmesi önemlidir. (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Özellikle yeni nesil araç bataryalarının üretim aşamasında içten yanmalı motorlu araçlara göre daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir (Girardi ve ark., 2015). Bu yüzden bataryaların ömrünü uzatan sistemler sadece ekonomik olarak değil, çevresel olarak da önem arz etmektedir.

Lityum-iyon batarya öncesi Nikel-Kadmiyum (NiCd), Nikel Metal Hidrür (Ni-MH) ve Kurşun-Asit bataryalar taşınabilir elektronik cihazlar ve mobil araçlarda şarj edilebilir enerji saklama sistemleri (Rechargeable Energy Storage System, RESS) olarak kullanılmıştır. Ancak lityum iyon bataryalar yüksek enerji yoğunluğu, çalışma gerilimi seviyelerinin fazla değişmemesi, uzun çevrimsel ömrü ve hafif olması gibi avantajlarından dolayı taşınabilir elektronik pazarında tercih edilmiştir.

Ortalama bir araç deposunun aldığı 45 litre benzin yaklaşık 450 kWh enerjiye denk gelmektedir. Ortalama elektrikli bir aracın 0,180 kWh/km enerji tükettiği düşünüldüğünde, km başına elektrik tüketimi 0,018 \$/km olarak hesaplanmaktadır. Bu hesap konvansiyonel bir araca göre beş ile on kat arası avantaj sağlamaktadır (Tunçyürek, 2019).

Birim yakıt maliyeti ve çevre açısından avantaj sağlayan bu araç teknolojinin adaptasyon ve geliştirme süreci halen devam etmektedir.

Batarya seviyesinde yüksek maliyet ve iyi bir yönetim sistemine olan ihtiyaç dezavantaj oluşturmaktadır. Araç seviyesinde, kısıtlı menzil ve uzun şarj süresi, sistem seviyesinde ise şarj altyapı eksikliği sorun oluşturmaktadır.

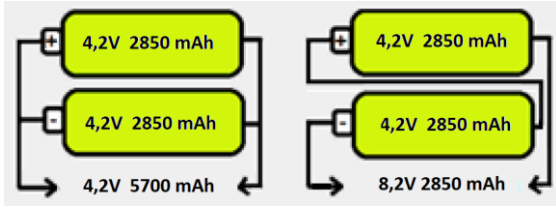
Elektrikli araçlar için şarj edilebilir lityum-iyon, NiCd ve Ni-MH gibi batarya seçenekleri mevcuttur. Bu seçim yapılırken güvenlik, çevreye duyarlılık, çevrim ömrü, güç yoğunluğu, maliyet, sıcaklık karakteristiği ve bakım gibi parametreler üzerinden değerlendirmeler yapılmaktadır (Karadeniz, 2012). Farklı pil teknolojileri arasında yüksek enerji yoğunlukları ve uzun ömürleri sebebiyle lityum-iyon piller ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda talep gören lityum-iyon pil çeşitleri ve kısaltmaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Lityum pil çeşitleri ve kısaltmaları

Lityum Demir Fosfat (LiFePO ₄)	LFP
Lityum Kobalt Oksit (LiCoO ₂)	LCO
Lityum Magnezyum Fosfat	LMP
Lityum Manganez Oksit (LiMn ₂ O ₄)	LMO
Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (LiNiCoAlO ₂)	NCA
Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (LiNiMnCoO ₂)	NMC
Lityum Titanat (Li ₂ TiO ₃)	LTO

Lityum bazlı hücreler; diğer pil sistemlerindeki gibi enerjiyi muhafaza etmek için anot, katot ve elektrolit alt bileşenlerden oluşturulur. Anot malzeme eksi elektrot, katot ise artı elektrot olarak çalışmaktadır. Katı polimer elektrolit kullanılan bataryalar ise Lityum-iyon Polimer (LiPo) pil olarak adlandırılır. Artı elektrotlar genel olarak tabakalı yapılara sahip metal oksitlerden (LiMO_x) oluşmaktadır. Bu yapılarda pilin doldurulup boşaltılması esnasında lityum iyonları, artı ve eksi elektrotlar arasında etkin bir şekilde yer değiştirmektedir (Polat ve Özgül, 2020).

Temel bir elektrik prensibi olarak araç bataryalarının seri bağlantısı gerilimin yükselmesini, paralel bağlantısı akımın yükselmesini sağlar. İhtiyaç duyulan batarya gerilim seviyesi ile akım ihtiyacına göre Şekil 1’de gösterilen bağlantı tipleri tercih edilir. Silindirik veya prizmatik formda üretilen pil hücreleri seri veya paralel bağlanarak batarya modülleri oluşturulur (Ramoni, Monsuru & Zhang, Hong-Chao. 2013).



Şekil 1. Batarya paralel ve seri bağlantı

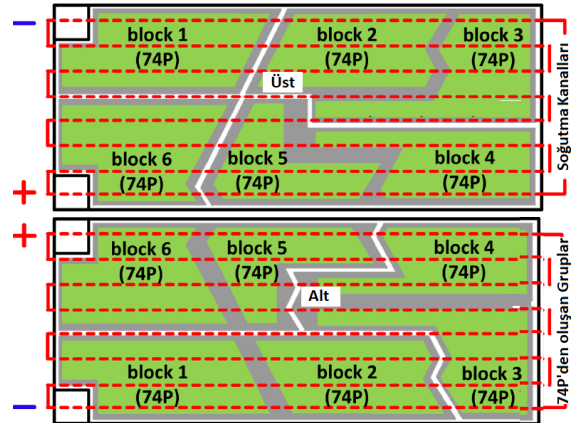
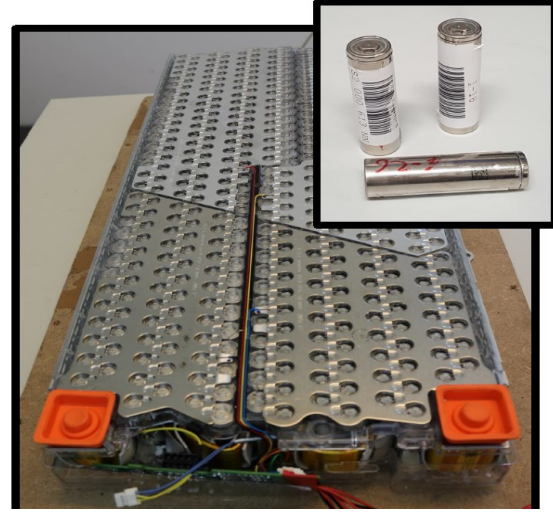
Bu modüller arzu edilen akım ve gerilim seviyesine göre seri veya paralel olarak bağlanmış hücreler, aktif veya pasif soğutma sistemleri ile elektronik kontrol ünitesi içerirler. Elektrikli araçlarda batarya yapısı hücrelerden grup, gruplardan modül, modüllerden paket oluşturmak suretiyle elde edilir (Hücre→Grup→Modül→Paket). Bir örnek vermek gerekirse; 2012 yılında 85 kWh pil paketine sahip Tesla S modeli 7104 adet silindirik lityum-iyon pil hücresine sahipti (18650 tip). Batarya paketi seri olarak birbirine bağlanmış 16 modülden oluşmaktaydı. Her modül 6 grubun seri bağlanmasıyla elde edilmişti. Bu gruplar ise paralel bağlanmış 74 hücreden oluşmaktaydı. 540 kg ağırlığındaki pil paketi EPA testlerine göre 426 km menzil sağlamaktaydı (Ingram, 2013). Detayları Tablo 2’de verilen bu modül Şekil 2’de gösterilmiştir (Kuipers ve ark., 2017).

Tablo 2. Tesla S modeline ait batarya paketi

Hücre Gerilimi	4,2 V (Azami) 3,7 V (Anma)
Grup Gerilimi	4,2 V (74 hücre, 74P)
Modül Gerilimi	25,2 V (444 Hücre, 74P6S)
Modül Gücü	5,3 kWh (210Ah)
Modül Ağırlığı	26 kg (14,38 lt)
Paket Gerilimi	403,2V (16 modül, 74P96S)
Paket Gücü	85 kWh (210 Ah)

Batarya teknolojisinde paketin oluşturulması, hücrelerin dengelenmesi, güvenlik önlemlerinin yanında şarj sistemleri için de birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu şarj işlemlerinde hızlı ve verimli şekilde bataryanın sınırları çerçevesinde maksimum şarj akımı ile doldurmak önemlidir. Hızlı şarj için yüksek akım kaynağına ihtiyaç vardır. Batarya şarj yöntemleri kablolu şarj (conductive) ve kablosuz şarj (wireless) olarak değerlendirilir. Ayrıca kullanılacak enerji için çevre kirliliği ve doğaya en az zararlı süreci yönetmek tasarım kadar önem arz etmektedir (Terzi ve ark., 2020). Enerji aktarımı yapılırken sıcaklık kontrolü, uygun olmayan şarj durumunda durdurma, hava koşullarından bağımsız şarj, kolay kullanım, AC/DC şarj

edilebilme, elektriksel izolasyon ve uygun maliyet gibi isteklerin karşılanması beklenmektedir. Kullanılacak şarj altyapısıyla batarya grubunun uyumu dikkate alınmalıdır.



Şekil 2. Tesla batarya modülü (Kuipers, 2017)

İlerleyen bölümlerde elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemleri ve yapıları hakkında bilgi verildikten sonra elektrikli araç batarya hücrelerinin dengeleme yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

2. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemleri

Elektrikli ve hibrit araçların yaygınlaşmasına paralel olarak batarya yönetim sistemlerinin (BYS) üretim ve kullanım miktarları artarak pazar büyüklüğü 2019 yılında 4,3 milyar dolara ulaşmıştır. Pazar büyüklüğünün 2027 yılında 16,6 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (TMR, 2019). Otomotiv sektörünün yanında tüketici elektroniği, tıp ve sağlık, askeri ve savunma, yenilenebilir enerji sistemleri, telekomünikasyon sektörleri batarya ve batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

Teknolojik gelişmelerin önümüzdeki yıllarda batarya yönetim sistemlerine olan ihtiyacı artırması beklenmektedir. Global BYS üreticileri arasında öne çıkan firmalar şunlardır:

- Denso (Japon)
- Calsonic Kansei (Japon)
- Hitachi Automotive Systems (Japon)
- Mitsubishi Electric (Japon)
- Hyundai Kefico (Kore)
- LG Chem (Kore)
- SK Innovation (Kore)
- Tesla Motors (ABD)
- Lithium Balance (Danimarka)
- Vecture (Kanada)
- Digi-Triumph Technology (Tayvan)
- Clayton Power (Danimarka)
- BYD (Çin)
- Huizhou E-power Electronics (Çin)

BYS imalatçalarına yönelik çip üreten global mikroişlemci firmaları şunlardır (Research and Markets, 2018 ve TMR, 2019):

- Analog Devices / Linear Technology (ABD)
- Texas Instruments (ABD)
- Infineon (Almanya)
- NXP (Philips) Semiconductors (Hollanda)
- Maxim Integrated Products (ABD)

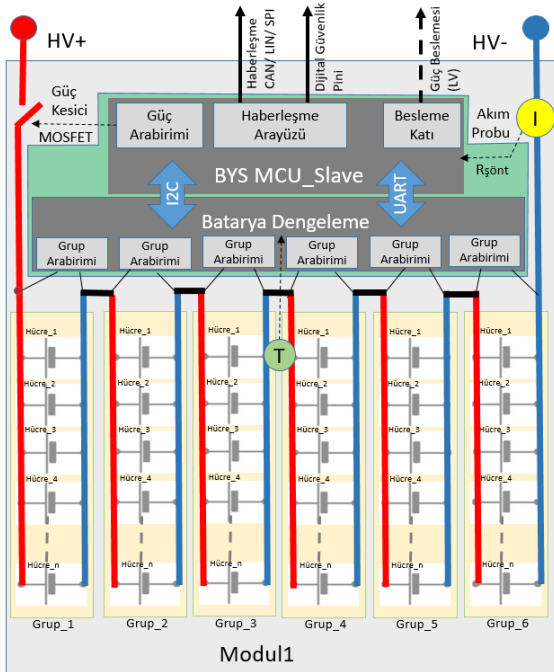
Batarya yönetim sistemleri bir veya birden fazla pilin seri veya paralel bağlantısıyla oluşan batarya paketlerinin dolum/boşaltım işlemlerini denetleyen ve yöneten sistemler olarak tanımlanmaktadır (Daowd, 2011). Bu yapılar, batarya paketlerinde akım, gerilim, sıcaklık gibi temel değerlerin ölçümünü yapıp, nominal aralık dışına çıktığında sisteme müdahale etmektedir. Bu yüzden batarya hücre değerlerinin yüksek çözünürlük ve doğruluk ile ölçülmesi için kullanılan Analog-Dijital dönüştürücüler (ADC) önem kazanmaktadır. Ölçtüğü bu fiziksel büyüklüklere ek olarak; batarya doluluk oranı (State of Charge, SoC), sağlık durumu (State of Health, SoH) ve kalan faydalı ömür (Remaining Useful Life, RUL) gibi önemli parametreleri yaklaşım metodlarıyla tespit eder (Matúš ve ark., 2019).

BYS'nin güç tüketim verimliliği ve batarya ömrünü artırdığını destekleyen farklı çalışmalar bulunmaktadır (Dubarry 2007, Conte 2006). Gerçek zamanlı batarya koruması ve performansının iyileştirilmesi için BYS, batarya dolum/boşaltım işlemlerini düzenlemede ve takipte kullanılmaktadır (Chiasson ve Vairamohan 2006, Plett 2004).

Ayrıca otomobil endüstrisi, ilgili tüm ürünlere uluslararası ISO26262 (Yol araçları için fonksiyonel güvenlik) standardını uygulamaya başlamıştır. Fonksiyonel güvenlik standardı olarak bilinen ISO 26262, IEC 61508 standardının otomotiv sektörüne uyarlamasıdır. Karayolu taşıtlarının güvenlikle ilgili elektrik elektronik sistemlerine uygulanır. Bu standart; gittikçe bilgisayarlı hale gelen otomobil sistemlerinin güvenliğini sağlamak için muhtemel arızaların neden olacağı sonuçların risk seviyelerine göre otomotiv güvenilirlik seviyelerini (Automotive Safety Integrity Level, ASIL) tanımlar. BYS için risk seviyesi "aşırı şarj nedeniyle lityum iyon pilden kaynaklanan yangın tehlikesi" ve "hataların risk oluşturma potansiyeli" sebebiyle yüksek olarak değerlendirilerek BYS'nin önemine bir kez daha dikkat çekilmiştir (Khan, 2017).

2.1. BYS yapısı

Batarya yönetim sistemlerinin bataryanın sağlıklı çalışmasına yapacağı katkı, bataryanın "Paket-Modül-Grup-Hücre" şeklindeki hiyerarşik dizilimine etkisiyle orantılıdır. Bu dizilimde aşağıya inildikçe bataryanın takibi ve kontrolü artmaktadır. Bu artışa oranla maliyet ve sistemin karmaşıklık seviyesi yükselmektedir. Binlerce hücreye sahip bir bataryanın tüm hücrelerini takip etmek ticari bir ürün için oldukça zordur. Bundan dolayı Tablo 2'de verilen Tesla S modelinin batarya yönetimine "grup seviyesinden" başlamak optimum çözüm sağlamaktadır. Her modül içerdiği altı grubun takibini, dengelemesini, yönetimini yapmaktadır. Şekil 3'te verilen modülün grup arabirimi, modüldeki her grubun sıkı yönetimini ve izlenmesini sağlar. Grup sayısına bağlı olarak gerektiği kadar grup arabirimi kullanır. Grup arabirimi her bir grubun gerilimini mümkün olduğu kadar yüksek çözünürlükle dönüştürür, işler ve modül arabirimine iletir. SoC, SoH gibi değerlerin akım ve sıcaklık sensör değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Bu bilgiler gruplar arasındaki farkın dengelenmesi için tekrar alt seviyeli işlemciye aktarılır. Güç arabirimi akımı ve solid state bir röle üzerinden diğer modüllerle bağlantıyı kontrol eder. Haberleşme arayüzü diğer modüller ile CAN, LIN gibi otomotiv tipi veya SPI, I2C, UART gibi endüstriyel iletişim protokolleriyle haberleşmeyi sağlar. Ayrıca harici bir pinle tehlikeli durumlarda (iletişim hatlarında bir sıkıntı olsa dahi) kapatma görevini üstlenir.

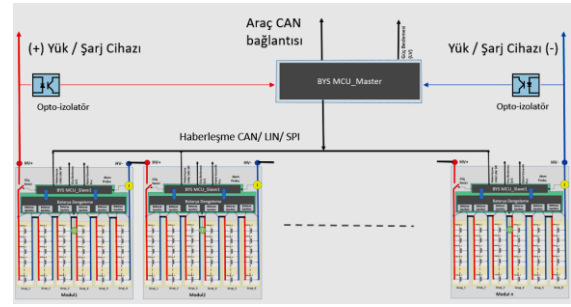


Şekil 3. Altı gruptan oluşan bir modülün örnek batarya yönetim sistemi yapısı

BYS için düşük voltaj hattından besleme alınabileceği gibi, BYS kendini doğrudan pillerinden de besleyebilmektedir. Böyle durumlarda BYS'nin çalışması için harici güç gereksinimi ortadan kalkar. Grup arayüzleri modül arabirimine, modül arabirimi birden çok modülü izleyen ve yöneten ana denetleyiciye (BYS MCU_Master) Şekil 4'teki gibi bağlanır. Ana denetleyici batarya modüllerini yüksek voltaj hatlarına bağlar.

Bu yöntemler tasarlanırken kullanılan entegrelerden biri de Linear Technology tarafından üretilen LTC6803 serisi pasif dengeleme yöntemlerinde, LTC3300 ve Texas Instruments'in ürettiği BQ76 serisi de aktif dengeleme yönteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Belirlenen ihtiyaca göre bu entegrelerden birden fazla kullanılarak gereken hücreler izlenerek dengelenmektedir. Diğer bir seçenek, 16 bit ADC ile 12 hücre voltajı ölçebilen ve hücre dengeleme yapabilen, 5 sıcaklık ölçüm kanalına sahip, UART üzerinden 20 entegreyle haberleşme potansiyeline sahip ve ana pil denetleyicisiyle izole iletişim yapabilen Infineon TLE9012AQU entegresidir.

Tüm bunların yanı sıra, elektrikli araç bataryaları için dengeleme algoritması (hücre değerlerinin değerlendirilme şart ve sıklığı, dengelemenin şartları, dengeleme başarısız olursa nasıl ilerleneceği gibi konular) kararlaştırılmış olmalıdır.



Şekil 4. Batarya yönetim sisteminin haberleşme katmanları (Master - Slave)

2.2. BYS nin görevleri

BYS bir koruyucu gibi davranarak bataryaların anlık çalışma durumlarını inceler, nominal çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar. Herhangi bir hücrede aşırı voltaj yüklenmesi ya da düşük gerilim oluşup gerilim dengelerinin bozulması durumunda sisteme müdahale ederek kesime götürür. Gerekli şartlar oluştuğunda enerjiyi en dolu hücreden en az yüklü hücreye aktararak veya fazla yüklü pildeki enerjiyi ısı olarak dışarı atarak dengelenmelerini sağlar. Batarya yönetim sistemleri sürekli bir denetim kurarak olağan ve olağandışı işlemleri kontrol etmeye çalışır. Bu görevler, yüksek maliyetli batarya paketlerinin uzun ömürlü olmaları için son derece önemlidir.

BYS'lerin bir diğer görevinde, yüksek sıcaklık altında yanıcı ve patlayıcı özellik gösteren bu piller için güvenliğin sağlanmasıdır. Alınan yazılımsal ve donanımsal tedbirler sayesinde bataryalar daha uzun süre ve güvenle kullanılabilir (Changhao ve ark., 2015).

Elektrikli araçlar da güvenlik ve yüksek verim için batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Bunun sağlanabilmesi için batarya değerlerinin yanında araca ait bazı parametrelerin de sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Elektronik bir donanım ve yazılımdan oluşan batarya yönetim sistemi, akü üreticisinden temin edilebilen bir sistem olabileceği gibi araç kontrol sistemine tümleşik bir alt sistem olarak da tasarlanabilir. Batarya ile ilgili kararlar daha üst seviyeli bir kontrol ünitesi ile denetlenmektedir. İyi tasarlanmış bir BYS'den aşağıdaki fonksiyonları "doğrudan" veya "üst seviyeli kontrol ünitesiyle ortaklaşa" gerçekleştirmesi beklenir (Kaymaz, 2018):

1. Gerilim, akım, sıcaklık, empedans (U, I, T, Z) ölçümü, SoC, SoH ve RUL değerinin düzenli olarak hesaplanması
2. İşletme limitleri içinde hücrelerin sağlıklı çalışmasının sağlanması

3. Tüm hücrelerin sağlıklı olarak şarj edilebilmesi (Uygun şarj algoritması, şarj istasyonları ve şebekeyle iletişim, V2G)
4. Araç işletim durumuna uygun enerjinin temini (Uygun Deşarj Algoritması)
5. Hücrelerin dengelenmesi
6. Diğer kontrol üniteleri için gereken bilginin ve hata kodlarının üretilmesi ve araç içi diğer sistemlerle iletişim (CAN Bus)
7. Termal kontrol
8. Kalan enerjiyle tahmini menzil bilgisi (ileri sistemlerde GPS ile entegrasyon)
9. Akü kullanımının (çalışma süresi, dolun ve boşaltım sayısı) ve kötü kullanımın kaydedilmesi (Log Book)
10. Kontrol dışı durumlarda güvenli modun oluşturulması (Safety Mode)
11. Acil durumlarda “servise ulaşım” imkânının planlanması (Limp Home Mode)
12. Kaza durumunda akü izolasyonunun sağlanması (Crash Mode)

İlk maddede belirtilen SoC bataryanın enerji oranını verdiğinden araç için önemli bir bilgidir ve akünün anma kapasitesi ile şarj miktarına bağlıdır. Ancak bataryalar anma kapasitelerini şu iki etki sebebiyle kaybederler:

- Zamana bağlı yaşlanma (Calendar aging)
- Çalışmaya bağlı yaşlanma (Cyclic aging)

Sıcaklık, her iki etki üzerinde hızlandırıcı bir fonksiyona sahiptir. Yaşlanmaya bağlı kaybolan bu kapasite sebebiyle SoC'nin yanında SoH ve RUL bilgisi hesaplanır. Bataryada depolanan kimyasal enerji miktarına doğrudan erişim mümkün olmadığından bu önemli parametreler bir takım yaklaşım metodlarıyla hesaplanır. SoC / SoH yaklaşım metodlarını dört kategori altında toplamak mümkündür:

1. Doğrudan ölçüm (Açık devre voltaj yöntemi, Terminal voltaj yöntemi, Empedans yöntemi, Empedans spektroskopisi yöntemi)
2. Kayıt tutma yöntemi (Standart ve geliştirilmiş Coulomb sayma yöntemi)
3. İleri sistemler (Kalman filtresi, Destek vektör makinesi, Bulanık ve yapay sinir ağı)
4. Hibrit yöntemler (Coulomb sayımı ve Terminal voltaj yöntem kombinasyonu, Coulomb sayımı ve Kalman filtre kombinasyonu, Birim başına Kalman filtre sistemi) (Matúš ve ark., 2019)

Mevcut batarya yönetim sistemlerinde çoğunlukla görülen yöntem, doğrudan ölçüm yöntemi ile mikroişlemci destekli kayıt tutma yöntemlerinin (Coulomb sayımı ve terminal voltaj yönteminin) kombinasyonudur. Hata payını düşük seviyede tutmak için empedans ölçümü, Kalman filtre ve yapay zekâ destekli uygulamalar üzerinde çalışılmaktadır.

Gelişen teknolojiler batarya yönetim sistemlerinin özelliklerini ve görev tanımını da değiştirmektedir. Son dönemde bataryaların bulut tabanlı izleme ve analiz ile hibrit/elektrikli araçlarda ekonomik ömrünü tamamlamış bataryaların yeniden kullanımı ön plana çıkmaktadır:

Bulut tabanlı izleme ve analiz

Araç bataryaları hızlı şarj, aşırı sportif sürüş tarzı ve yüksek veya düşük ortam sıcaklıkları gibi stres kaynakları sebebiyle öngörülenden daha hızlı yaşlanırlar. Bulut tabanlı servisler, bu stres tetikleyicilerini algılamak ve bunlara karşı koymak için mevcut ortam sıcaklığı ve şarj etme alışkanlıkları gibi bataryayla ilgili tüm verileri gerçek zamanlı yapay zeka analizi için buluta iletmektedir. Bu sayede bulut tabanlı batarya yönetim sistemleri son kullanıcılara SOC, SOH gibi kritik bilgileri izleme ve analiz imkânı sağlar (Li, 2020). Ayrıca kritik batarya arızalarının çevrim içi olarak tanımlanmasına ve hücre yaşlanmasının uzun vadeli izlenmesine olanak tanımaktadır (Adhikaree, 2017). Bu tür yüksek teknoloji özelliklerinin artan popülaritesi, batarya yönetim sistemi paydaşları için iş stratejilerinde dönüşüme neden olmaktadır. Örneğin; 2019'da Bosch bireysel elektrikli araç akülerinin hizmet ömrünü uzatmak için bulut tabanlı sürüş istihbarat hizmetlerinin geliştirildiğini duyurmuştur. Bu özellik, bulut hizmetinde pil durumunu sürekli olarak analiz eden ve hücre yaşlanmasını önlemek veya yavaşlatmak için uygun eylemleri gerçekleştiren akıllı yazılım işlevlerini içermektedir (Bosch, 2019).

Yeniden Kullanım

Elektrikli araçlarda kullanılmış ve ekonomik ömrünü tamamlamış bataryalar (elektrikli araç için yeterli olmasa da) elektrik şebekelerinde güç dengelemesi gibi ikincil kullanımlar için halen yüksek bir depolama kapasitesine sahiptir (Lluc 2019, Martinez-Laserna, 2016). Böyle bataryaların yenilenebilir enerji sistemleri ve telekomünikasyon gibi diğer alanlarda yeniden kullanılması yüksek hassasiyetli batarya yönetim sistemlerine olan ihtiyacı artıracaktır.

3. Hücre eşitleme (batarya dengeleme) yöntemleri

Bataryanın uzun ömürlü olmasını sağlayan parametrelerden biri de hücre grup gerilimlerinin eşit olmasıdır. Çünkü seri bağlı bir pil grubunun deşarj durumunu gruptaki en düşük gerileme sahip hücre belirlemekte ve pil grubu ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde şarj sırasında yüksek gerilime sahip olan hücre, bataryada denge kaybına neden olur ve düşük gerilime sahip hücrenin tam dolmasına izin vermez (DelRossi, 2002).

Hücreler arasındaki dengesizliklere sebep olan bazı nedenler şunlardır:

- Üretimden kaynaklı farklılıklar
- Hücre empedansındaki farklılıklar
- Termal (paket-modül içi) dengesizlik
- Araç üzerindeki titreşim (Bruen, 2016 ve Zhang, 2017)

Bu durumlar batarya içerisindeki piller arasında kapasite farklılıkları oluşturmakta ve daha sık şarj/deşarj işlemi gerektirmektedir. Bu dengesizlikler sistemin performansı düşürerek, kullanım ömrünü kısaltmaktadır. Batarya dengeleme sistemleri bu noktada her bir hücrenin gerilim seviyesini, dolayısıyla kapasitesini birbirine en yakın noktada tutmaya çalışarak batarya grubunun ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Bu nedenle hücre dengeleme devresi, her hücre yapısının dengeli koruma durumunu ve sistemin en uygun çalışma noktasını dikkate almalıdır.

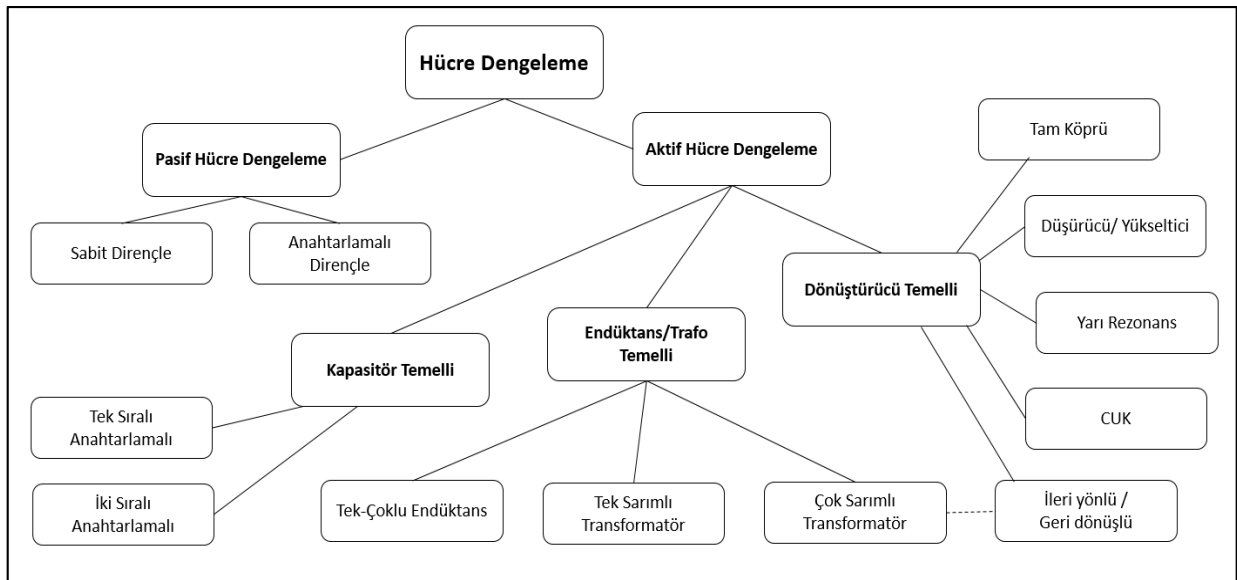
Dengeleme yöntemleri Şekil 5’te gösterildiği gibi pasif ve aktif dengeleme yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Uygun yöntem, kullanılacak sistemin yapısı ve maliyeti göz önünde bulundurularak seçilir (Balıkcı, 2012). Pasif hücre dengelemede kapasitesi yüksek hücredeki fazla enerji bir direnç üzerinden ısı enerjisi olarak paketten atılırken aktif hücre dengeleme sistemlerinde enerji, yüksek gerilimli hücreden düşük gerilimli olan hücreye transfer edilmekte ve verim yükseltilmektedir.

3.1. Pasif dengeleme yöntemi

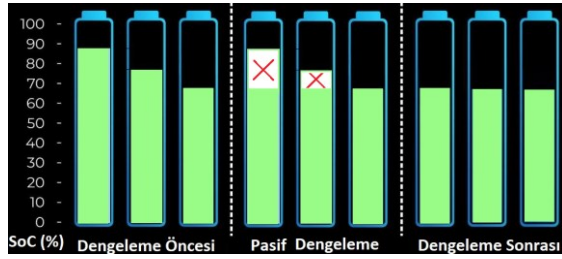
Bu dengeleme yöntemlerinden ilki olan pasif dengelemeli batarya yönetim sistemlerinde; bir eşik değeri seçilir ve herhangi iki hücre arasındaki fark bu eşik aşarsa, bypass dirençlerini kullanarak bu fazla enerji harcanır. Pasif dengeleme, şarj durumunu belirli bir noktada genellikle ya "en üst şarj seviyesinde" ya da "en alt şarj seviyesinde" iken eşitler. Bu daha yüksek şarj durumuna sahip hücrelerden (bir direnç üzerinden kontrollü bir kısa devre ile) enerjiyi boşaltılarak yapılır.

Prensip uygulama Şekil 6’da verilen bu dengeleme yönteminin en büyük dezavantajı enerjinin ısı enerjisi olarak dışarı atılmasıdır. Isı olarak paket dışına atılan enerji miktarı toplam batarya paketi düşünüldüğünde göz ardı edilemeyecek düzeye gelecektir.

Pasif dengeleme yönteminde sabit veya anahtarlamalı direnç kullanılır. Sabit direnç ile dengeleme yönteminde hücrelerden sürekli olarak akım çekildiğinden verim düşmektedir.

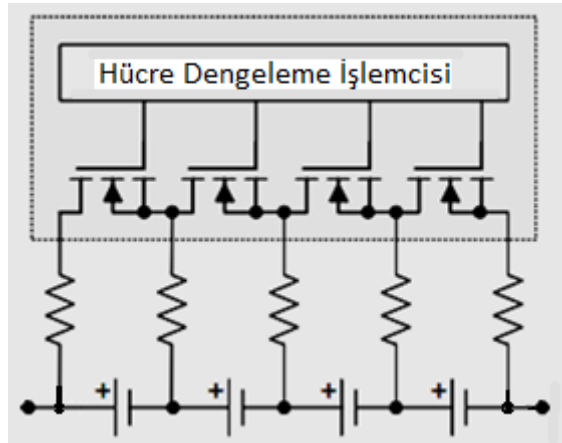


Şekil 5. Aktif ve Pasif dengeleme yöntemleri



Şekil 6. Pasif Dengeleme Yöntemi

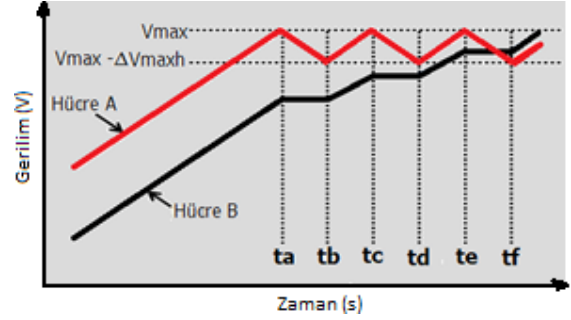
Seri bağlı hücrelerin gerilim seviyeleri kontrolcü tarafından ayrı ayrı ölçülmesi gerekmektedir. Bu sistem bir anahtar, bir direnç ve bir kontrolörden oluşmaktadır. Kullanımı oldukça yaygındır. Anahtarlamalı dengeleme için en ideal yöntemlerden biri de Şekil 7'deki gibi bypass alan etkili transistör (MOSFET) kullanımudur. Yeterince dolmuş hücrenin kol direnci artırılarak daha az akım çekmesi ve bu esnada diğer hücrelerin bu hücreyi yakalaması sağlanır. Buradaki ana seçim, dengeleme entegresinin içinde olan ve düşük seviyede bypass akımlarına müsaade eden FET'leri kullanmak veya özel uygulama ihtiyaçları için serbestçe ayarlama imkânı veren harici Harici FET'ler kullanmaktır. Harici FET'lere tipik bir örnek oluşturan Infineon Small Signal OptiMOS-606 entegre ailesi 60 volta kadar çalışabilir. (Tamma Kumar, 2013).



Şekil 7. Anahtarlamalı dirençle dengeleme

Dolum esnasında farklı şarj seviyelerinde olan ve şarj miktarları gerilim seviyeleriyle anlaşılan seri bağlanmış iki hücrenin (Hücre-A ve Hücre-B) dolum zamanı Şekil 8'de gösterilmektedir. Enerjisi daha fazla olan Hücre-A şarj işleminin kesileceği üst noktaya (V_{max}) Hücre-B'den daha önce, "ta" anında ulaşmaktadır. Tam bu noktada Hücre-A ile Hücre-B arasındaki enerji farkı fazla olduğundan, şarj işlemi kesilerek Hücre-A üzerindeki enerjinin bir kısmı bir yük üzerinden boşalır ve "tb" anında şarj işlemi tekrar başlar. Şarj işlemini durdurup Hücre-A

üzerindeki enerjini yük üzerinden boşaltılması işlemi "tc-td" ve "te-tf" arasında tekrar edilmektedir. Dolum işlemi bitince her iki hücre arasındaki enerji farkı belirlenen seviyeye kadar indirilmektedir.



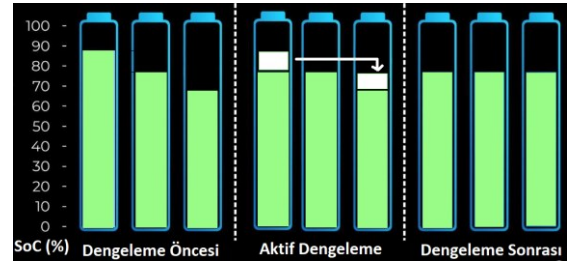
Şekil 8. Pasif Dengeleme Hücre Gerilimleri

Pasif dengeleme yöntemi hibrit ve elektrikli araçlar için kolay uygulanabilirlik ve maliyet avantajı sağlamaktadır. Dengelemenin uzun sürmesi ve enerji kayıpları dezavantajıdır.

3.2. Aktif dengeleme yöntemi

Diğer dengeleme yöntemi olan aktif dengeleme yöntemi enerjinin yüksek yüklü hücreden düşük şarj hücrene kapasitör ve bobinler kullanılarak transfer edildiği sistemdir. Prensiş şeması Şekil 9'da verilen aktif dengeleme yöntemi üç farklı metotla uygulanmaktadır:

1. Kapasitör Temelli
 - a) Tek Sıralı Kapasitör
 - b) İki Sıralı Kapasitör
2. Endüktans/Transformatör Temelli
 - a) Tek-Çoklu Endüktans
 - b) Tek Sarımlı Transformatör
 - c) Çok Sarımlı Transformatör
3. Dönüştürücü Temelli
 - a) Geri dönüşlü / ileri yönlü dönüştürücü
 - b) CUK Dönüştürücü
 - c) Düşürücü/Yükseltici Dönüştürücü
 - d) Tam Köprü Dönüştürücü
 - e) Yarı Rezonans Dönüştürücü



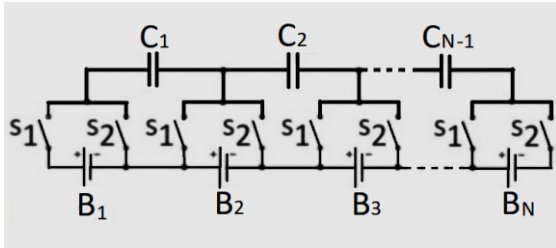
Şekil 9. Aktif dengeleme yöntem

3.2.1. Kapasitör temelli dengeleme

Bu dengeleme mekanizması, seçilen bir hücredeki enerjiyi kapasitör üzerinde depolayarak bir başka hücreye aktaran sistemdir. Farklı sayıda anahtarlama ve kapasitör kullanarak farklı dengeleme tasarımları yapılabilmektedir.

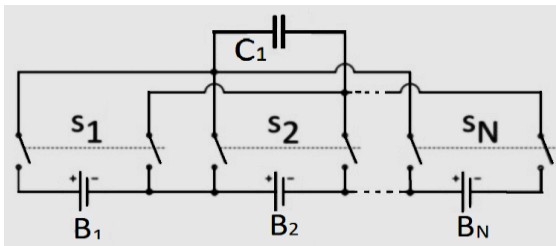
Tek sıralı kapasitör ile dengeleme

Bu yöntemde n sayıdaki hücreyi dengelemek için Şekil 10'da görüldüğü gibi $(n-1)$ sayıda kapasitör ve $2n$ sayıda dengeleme için anahtar gerekmektedir. Sistem bileşenleri sebebiyle maliyeti, pasif dengelemeli yöntemle göre daha yüksektir. Hem şarj hem de deşarj işleminde kullanılabilir. Dengeleme uzun sürmektedir.



Şekil 10. Tek sıralı kapasitör dengeleme

Anahtarlama dengeleme için en ideal yöntemlerden biri de Şekil 7 deki gibi bypass MOSFET kullanımıdır. Dörde kadar Li-Ion veya Li-Po hücrenin dengelemesi için analog ön uç (Analog Front End, AFE) olarak BQ29330 entegresi kullanılmıştır (Wen, 2009). Prensipteki uygulama şeması Şekil 11'de verilen benzer bir uygulamada tek kapasitör ile dengeleme yönteminde yine n sayıda hücrenin dengelenmesi için tek kapasitör ve $2n$ adet anahtar gerekmektedir. Hem şarj hem de deşarj işleminde kullanılabilir. Her bir batarya aynı kapasitöre sırayla bağlanarak birbirleri arasında enerji aktarımı yaparlar.

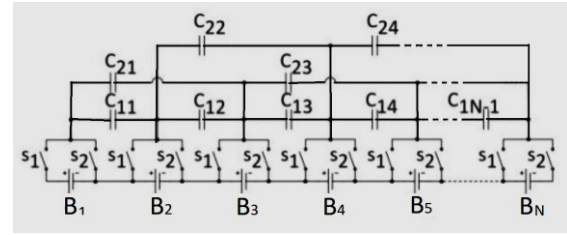


Şekil 11. Tek kapasitörlü dengeleme

İki sıralı kapasitör ile dengeleme

Prensipteki uygulama şeması Şekil 12'de verilen iki sıralı anahtarlama kapasitörlü dengeleme sistemde n sayıda kapasitör ve $2n$ sayıda anahtar gerekmektedir. Alt katmandaki kapasitörler

uzak hücreler arasındaki enerji akımının hızlandırılması için eklenmiştir. Dengeleme süresi diğer kapasitörlü yöntemlere göre daha uzun sürmektedir.



Şekil 12. İki sıralı anahtarlama kapasitör

İki sıralı anahtarlama kapasitörlü dengeleme yönteminde yüksek veya düşük konumda olmak üzere tüm anahtarların aynı anda çalıştırılmasıyla sağlanır. Anahtarlama yapıldığında kapasitör voltajından daha yüksek hücreler bu kapasitörü şarj eder ve anahtar tekrar konum değiştirdiğinde kapasitörden daha düşük hücreler onu deşarj etmektedir. Ve bu olay dengeleme sağlanana kadar tüm hücreler için tekrar edilir. Dengeleme doğal olarak kontrol edilemez. Çünkü yığındaki her bir hücre aynı şekilde çalıştırılır. Enerji aktarım hızı kapasitörlerin büyüklüğü ve anahtarlama frekansı ile doğru orantılıdır.

3.2.2. Endüktans/trafo temelli dengeleme

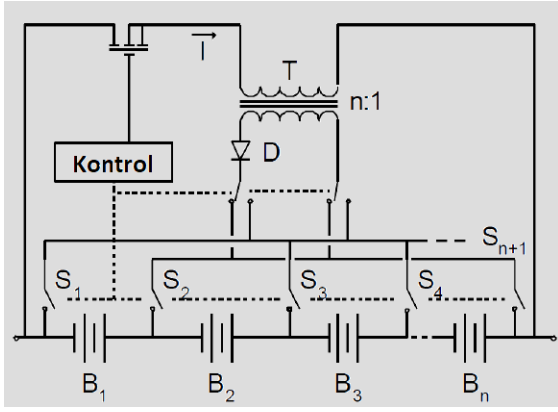
Bu yöntemde hücre dengelemesinde bir hücre veya hücre grubunun bir başka hücre veya hücre grubuna enerji taşınması için bobin temelli (endüktans veya transformatör) elemanlar kullanılmaktadır. Dengeleme metodu kullanılan bu eleman tipi ve kullanılan transformatörün sarım kat sayısına göre isimlendirilir.

Endüktanslı dengeleme

Endüktanslı dengeleme yönteminde-kapasitörlü sistemlerde olduğu gibi- enerji aktarımı için bir veya daha fazla sayıda endüktans kullanılabilir. Kontrol mekanizması gereken anahtarlama sinyali uygulayarak enerji aktarımı yapılacak hücrelere iletimi sağlamaktadır. Çok hücreli paketlerde dengeleme süresi uzamaktadır. Tek endüktanslı sistemlerde bu süre daha kısadır ancak bu topoloji yalnızca komşu hücreler arasında enerji aktarımı yapabilir. Bu nedenle enerji, dengelenecek tüm hücreler arasındaki aktarılır.

Tek sarımlı transformatör ile dengeleme

Bilindiği üzere transformatör primer ve secondary sargılar ile bunların bağlandığı bir nüveden oluşmaktadır. Bu sargılar birbirinden elektriksel olarak izole edilmektedir.



Şekil 13. Tek sarımlı transformör yöntemi

Transformatörlere ilk enerji verildiğinde yüksek akım çekmektedirler. Bu durum koruma rölelerinde hataya ve sistemdeki diğer elemanların zarar görmesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı trafo sargısı ve bu kalkış akımı için ideal önlemlerin alınması gerekmektedir. Paketten hücreye ve hücreden pakete olmak üzere çift yönlü bir aktarım söz konusudur. Bu topolojide kullanılan trafonun primer tarafında depolanan enerji MOSFET tarafından tetiklenerek sekonder üzerinden boş hücreye aktarılır. Bu yöntemde kullanılan trafo, MOSFET ile bunlara ait anahtarlama frekansı maliyeti etkileyen faktörlerdir. Şekil 13'te verilen tek yönlü dengeleme için daha az sistem bileşenine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çok sarımlı transformör ile dengeleme

Çok sarımlı transformörlü dengeleme sistemleri, yapıları gereği dönüştürücü temelli tasarlandıklarından "Geri dönüşlü ve ileri yönlü dönüştürücü" başlığı altında anlatılacaktır.

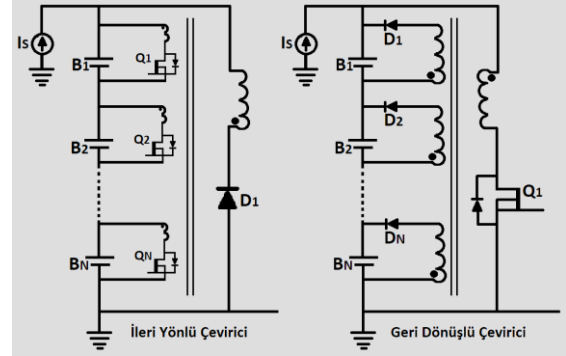
3.2.3. Dönüştürücü temelli dengeleme

Dönüştürücü temelli dengeleme yöntemleri seri bağlı hücrelerin her birine birer dönüştürücü bağlanması temeline dayanmaktadır. Dönüştürücü tabanlı topolojilerin verimi daha yüksektir ve güç akışı üzerinde iyi bir kontrole sahiptir (Ma ve ark., 2018). Burada farklı tip ve yöntemlerle tasarlanan dönüştürücülerden geri dönüşlü/ileri yönlü, cuk, düşürücü/yükseltici, tam köprü ve yarı rezonans tip dönüştürücülerden bahsedilecektir.

Geri dönüşlü ve ileri yönlü dönüştürücü

Çok sarımlı trafolarla yapılan geri dönüşlü (fly-back) ve ileri yönlü (forward) yapılarda hücre sayısı kadar ayrı transformör bulunmaktadır. Modüler sistemlerde oldukça kolaylık sağlamaktadır. Manyetik olan nüveye temas etmeden hücre ekleme ve çıkarma işlemi yapılabilmektedir. Ancak maliyeti diğer yöntemlere kıyasla yüksektir. Şekil 14'te çok

sarımlı trafolarla yapılan geri dönüşlü ve ileri yönlü yapılar gösterilmiştir. Geri dönüşlü yapıda tek, ileri yönlü yapıda hücre sayısı kadar anahtar bulunmaktadır.

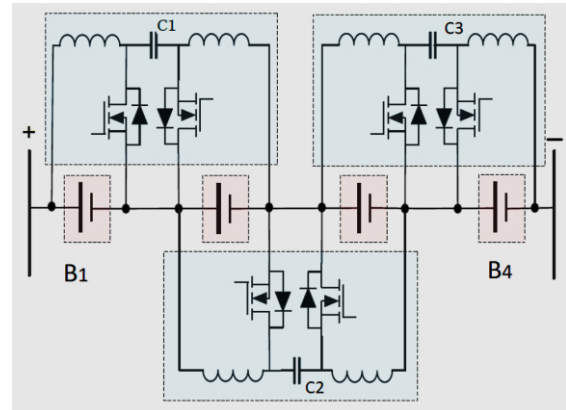


Şekil 14. Geri dönüşlü ve ileri yönlü yapılar

Geri dönüşlü dönüştürücüde yardımcı yan anahtar açıldığında, herhangi bir hücredeki yüksek voltaj düşük voltajlı hücrelere diyot aracılığıyla iletilir (Deepa ve ark., 2013). İleri yönlü dönüştürücüde de, voltaj farkı oluştuğunda yüksek enerjiye sahip hücre, transformör sargıları, diyotlar ve anahtarlar aracılığıyla diğer zayıf hücrelere aktarılır (Shang ve ark., 2017).

CUK dönüştürücü

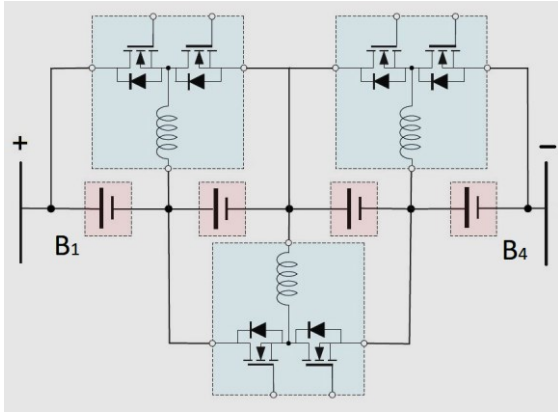
Prensip uygulama şeması Şekil 15'de verilen Cuk dönüştürücü, giriş voltajı büyüklüğünden daha büyük veya daha küçük bir çıkış voltajı büyüklüğüne sahip bir DC / DC Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü türüdür. Komşu hücreler arasındaki dengeleme için kullanılmaktadır. Bu dengelemede n sayıda hücre için (n-1) sayıda dönüştürücü gerekmektedir. Çok hücreli paketlerde dengeleme oldukça yavaştır. Çıkış voltajını artırabilir veya azaltabilir. Yalnızca komşu hücrelerin dengelenmesi için uygulanabilir (Ouyang ve ark. 2018, Moghaddam ve Van Den Bossche, 2019).



Şekil 15. CUK dönüştürücü

Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü

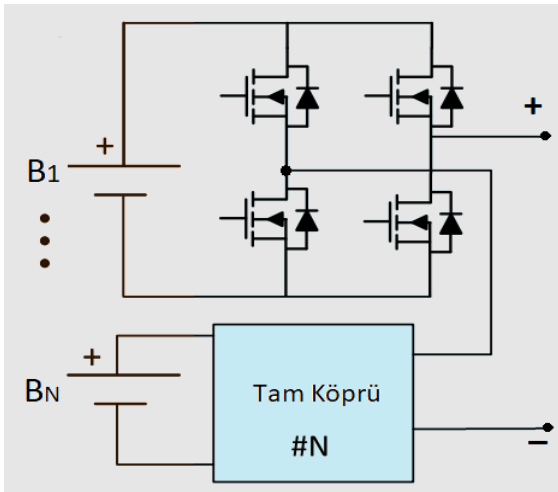
Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücü Şekil 16'da gösterildiği gibi bir adet düşürücü ve bir adet yükseltici dönüştürücünün (bir araya gelmesiyle oluşmuş bir topolojidir. Yükseltici kullanılarak hücrenin enerjisi tüm pakete, düşürücü kullanılarak tüm paketin enerjisi bir hücreye aktarılmaktadır. Akıllı bir kontrolcü ile gerilimlerin okunması ve gerekli anahtarlama sinyalleri ile dönüştürücü gerilimlerinin kontrol edilmesi gerekir. Modüler bir yapıya sahiptir. Kullanımı oldukça yaygındır. Düşürücü-Yükseltici topolojisi, hücreler arasındaki voltaj sapmalarının minimum olduğu ve uygulamaların yüksek dengeleme akımlarına ihtiyaç duyduğu durumlarda kullanılır (Shubiao ve ark., 2017).



Şekil 16. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü

Tam köprü dönüştürücü

Tam köprü dönüştürücü, tam kontrollü dönüştürücü olarak da adlandırılır. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü modu, tam köprü dönüştürücünün iki çalışma modudur (Chatzinikolaou ve Rogers, 2016).



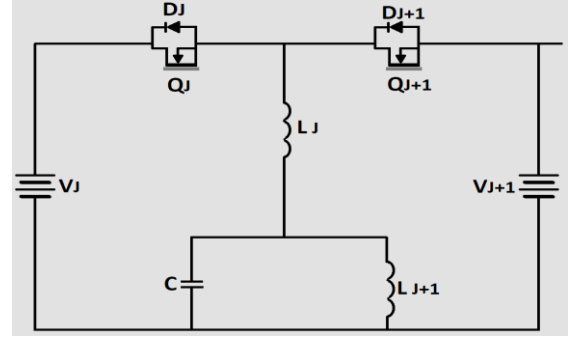
Şekil 17. Tam köprü dönüştürücü

Bu yöntem iki yönlü ve tam kontrollü bir enerji akarımı sağlamaktadır. Şekil 17'deki yüksek güç aktarımı gerektiren modüler sistemlerde kullanılmaktadır. Karmaşık ve pahalı bir sistem olmasına rağmen hızlı bir dengeleme topolojisidir.

Yarı rezonans dönüştürücü

Yarı Rezonans (Quasi-resonant) dönüştürücü, son derece verimli bir dönüştürücüdür. Çünkü anahtarlar sıfır voltaj ve / veya sıfır akımda açılır ve kapanır.

Bu dengeleyicide bobin ve kapasitörler, sıfır akımda anahtarlama (Zero Current Switching, ZCS) fonksiyonunu elde etmek için rezonant olarak tasarlanmıştır (Shang ve ark., 2015). Sıfır akım veya sıfır gerilim yarı rezonans çevirici olarak da adlandırılır. Anahtarlama kayıpları azaltılarak dengeleme veriminin artırılması amaçlanarak oluşturulmuştur. Oldukça karmaşık ve yüksek maliyeti vardır. Şekil 18'de yarı rezonans dönüştürücünün prensip şeması verilmiştir.



Şekil 18. Yarı rezonans dönüştürücü

Bahsi geçen aktif hücre dengeleme yöntemlerinin dengeleme hızı, güvenilirlik, kontrol stratejisi, maliyet, boyut, dolmuş-boşalma esnasındaki etkinlik, verim ve uygulama gücü gibi kriterler üzerinden yapılan karşılaştırmaları Tablo 3'de verilmiştir (Thiruvonasundari ve Deepa, 2020). Kontrol stratejisi zor olsa da düşürücü/yükseltici dönüştürücü ile yapılan dengeleme devrelerinin daha hızlı ve güvenilir bir dengeleme yaptığı söylenebilir. Hem dolmuş (şarj) hem de boşaltım (deşarj) esnasında aktif olarak çalışan bu dönüştürücü tipi orta ve yüksek güçlü batarya gruplarına uygulanabilmektedir. düşük maliyet bu dönüştürücünün diğer avantajı sağlamaktadır. Uygulanacak hücre dengeleme topoloji seçiminde, dengelemenin hangi şartlar altında ve ne kadar süreyle yapılacağı (müsade edilen azami akım) gibi parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 3. Aktif hücre dengeleme yöntemlerinin karşılaştırması

Aktif Dengeleme Yöntemi	Dengeleme hızı	Güvenirlilik	Kontrol stratejisi	Maliyet	Boyut	Dolum & Boşaltım	Verim	Uygulama Gücü
<i>Tek sıralı kapasitör yöntemi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Zor</i>	<i>Yüksek</i>	<i>İri</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>İki sıralı kapasitör yöntemi</i>	<i>Çok Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>Tekli-Çoklu Endüktans yöntemi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Zor</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>Tek Sarımlı Transformör yöntemi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Düşük</i>	<i>Zor</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Dolum</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>
<i>İleri yönlü Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Zor</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>
<i>Geri dönüşlü Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>
<i>Tam Köprü Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>	<i>Zor</i>	<i>Düşük</i>	<i>Kompak</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta</i>
<i>Çuk Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Zor</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>Düşürücü/Yükseltici Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Zor</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>Yarı Rezonans Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Çok Düşük</i>	<i>Zor</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta/ Yüksek</i>
<i>Rampa Dönüştürücü yöntemi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Çok Düşük</i>	<i>Zor</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Her ikisi</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>

4. Sonuç

Otomotiv sektörünün geleceği olan elektrikli araçların bataryalarına ait dengeleme sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. Seri elektriksel bağlantının temel gereksinimi olan “modüllerin eşit voltaja sahip olması” üretim veya işletme farkları sebebiyle ihlal edildiğinde aynı grup içindeki pillerin dengesiz yüklenmesine ve kayıplar oluşmasına yol açar. Bunları gidermek için aktif ve pasif dengeleme yapabilen batarya yönetim sistemleri uygulanmaktadır.

Maliyet avantajı sağlayan pasif dengeleme sistemlerinin dezavantajı enerjinin boşa harcaması ve dengeleme süresinin uzun olmasıdır. Aktif dengeleme sistemleri enerjiyi kendi içinde transfer etmesi ve daha kısa dengeleme süresiyle pasif dengeleme yöntemlerine alternatif olmaktadır. Aktif dengeleme yönteminin dezavantajı ise sistem karmaşıklığı ve maliyetinin yüksek olmasıdır.

Tasarım ihtiyacına göre seçilecek yöntem kadar, dengeleme işleminin hangi şartlar altında ve ne kadar sıklıkla yapılacağı da önemlidir. Bu tip detaylar araç ve batarya üreticilerinin ortaklaşa karar vermesi gereken konulardır.

Batarya ve yönetim sistemlerinden daha yüksek verim almak için şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Batarya grupları oluşturulurken üretim kaynaklı farkların minimize indirilmesi ve karakteristik özellikleri birbirine yakın olan hücrelerin aynı grup içinde kombinasyonu
- Batarya yönetim sistemlerinde akım, gerilim, sıcaklık değerlerinin yüksek doğruluk ile ölçülmesi, etkin ölçüm yönteminin seçilmesi ve düzenli kalibrasyon kontrolü
- SOH, SOC, RUL gibi değerlerin hesaplanmasında doğru ölçüm ve hesaplama algoritmasının oluşturulması
- Batarya paket içi sıcaklık farkının oluşumunu engelleyecek pasif ve/veya aktif soğutma sisteminin tasarımı
- Fayda-maliyet oranı yüksek, verimli bir dengeleme sisteminin seçilmesi ve etkin kullanımı
- Teknolojik gelişmelere açık altyapı

Çevreye duyarlı enerji üretiminin ve verimli şekilde tüketilmesinin her geçen gün daha fazla önem kazandığı günümüzde detaylar daha da önem arzedecektir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Adhikaree ve ark., (2017), "Cloud-based battery condition monitoring platform for large-scale lithium-ion battery energy storage systems using internet-of-things (IoT)," IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Cincinnati, OH, 2017, pp. 1004-1009,

Balıkçı ve ark., (2012), Elektrikli Araç Batarya Sistemleri İçin Hücre Dengeleme (Cell Balancing) Sisteminin Tasarlanması, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu

Başbakanlık Genelgesi. *T. C. Resmî Gazete*, 30311, 24 Ocak 2018.

Batron Enerji (2019), Batron Enerji A.Ş <https://www.batronenerji.com/lityum-aku-ile-elektrik-depolama/>

Bosch (2019), Web sitesi, 12.12.2020 <https://www.bosch.co.uk/news-and-stories/news/bosch-extends-the-service-life-of-electric-vehicles/>

Bruen ve ark. (2016), 'Analysis of a battery management system (BMS) control strategy for vibration aged Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) Lithium-Ion 18650 battery cells', *Energies*, vol. 9, no. 255.

Changhao ve ark., (2015), Lithium-Ion Battery Cell-Balancing Algorithm for Battery Management System Based on Real-Time Outlier Detection, *Detection Mathematical Problems in Engineering* 2015(2):1-12

Chatzinikolaou ve Rogers (2016), "Electrochemical cell balancing using a full-bridge multilevel converter and pseudo-open

circuit voltage measurements," 8th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2016), Glasgow.

Chiasson ve Vairamohan (2006), Estimating the state of charge of a battery, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, Cilt: 13, s:465-470.

Conte (2006), Battery and battery management for hybrid electric vehicles: a review, *Elektrotechnik und Informations-technik*, Cilt. 123, No. 10, s:424-431.

Daowd ve ark., (2011), "Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Chicago, pp. 1-7

Deepa ve ark. (2013), "Active clamp zero voltage switching multiple output fly-back converter with voltage doubler," *International Review on Modeling and Simulations*, vol. 6, pp. 351-359.

DelRossi Rich (2002), Cell Balancing Design Guidelines, AN231, Microchip Technology, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00231a.pdf>

Dubarry ve ark. (2007), "Capacity loss in rechargeable Lityum cells during cycle life testing: The importance of determining state-of-charge," *Journal of Power Sources*, Cilt:174, No. 2, s:1121-1125.

Emir Tunçyürek (2019), <https://zes.net/elektrikli-arac-dunyasi.html>.

Enrique Dans, (2020), Forbes, We Need To Bring Forward The Ban On Internal Combustion Engines <https://www.forbes.com/sites/enriquedans/2020/09/21/we-need-to-bring-forward-the-ban-on-internal-combustion-engines/?sh=2841da2e31cb>

Girardi P, Gargiulo A, Brambilla PC (2015), A Comparative LCA of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle Using The Appropriate Power Mix: The Italian Case Study.

The International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (8): 1127-1142.

Gotwald ve ark. (1997), "Equalization of EV and HEV batteries with a ramp converter", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 33, no. 1, pp. 307-312.

Ingram, Antony (January 2, 2013). "Tesla Model S Owner Drives Coast To Coast Electrically (Again)". Green Car Reports. Retrieved January 9, 2013.

Jian Cao , Nigel Schofield , Ali Emadi (2008), Battery balancing methods: A comprehensive review.

Kaymaz Habib (2018), Hibrit ve Elektrikli Metrobüs Araçları İçin Sürüş Çevrimi Oluşturulması, Doktora Tezi, Marmara Ün. FBE

Kuipers ve ark. (2017), An in-depth View into the Tesla Model S Module, Helmholtz Institute, <https://www.researchgate.net/publication/315800624>

Li ve ark. (2020), Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation, Journal of Energy Storage, Volume 30, ISSN 2352-152X,

Lluc ve ark., (2019), Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis, Journal of Environmental Management, Volume 232, Pages 354-363, ISSN 0301-4797,

Ma ve ark. (2018), "Equalization of Lithium-Ion Battery Pack Based on Fuzzy Logic Control in Electric Vehicle," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, 6762-6771

Manzetti S., Mariasiu F., (2015), Electric Vehicle Battery Technologies: From Present State to Future Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51: 1004-1012.

Martinez-Laserna ve ark. (2016), "Evaluation of lithium-ion battery second life performance and degradation," 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, pp. 1-7,

Moghaddam Ali Farzan ve Alex Van Den Bossche (2019), "A Cuk Converter Cell Balancing Technique by Using Coupled

Inductors for Lithium-Based Batteries," Energies, vol. 12, pp. 2881.

Markus Lelie (2018), Battery Management System Hardware Concepts: An Overview.

Matúš ve ark., (2019), Overview of batteries State of Charge estimation methods, Transportation Research Procedia, Volume 40, Pages 186-192,

OICA (2017). Organization Internationale des Constructeurs d'Automobiles <http://www.oica.net/>

Ouyang ve ark. (2018), "SOC Estimation-Based Quasi-Sliding Mode Control for Cell Balancing in Lithium-Ion Battery Packs," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, no. 4, pp. 3427-3436.

Plett G. L. (2004), Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 3. State and parameter estimation, J. Power Sources, Cilt: 134, No: 2, s:277-292.

Polat ve Özgül (2020), Lityum İyon Pil Teknolojisi, Metalurji Dergisi https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi162/d162_4248.pdf

Ramoni, Monsuru ve Zhang, Hong-Chao (2013). End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. Clean Technologies and Environmental Policy. 15. 10.1007/s10098-013-0588-4.

Research and Markets (2018), Global and China Power Battery Management System (BMS) Industry Report, 2018-25, ID: 4590730, https://www.researchandmarkets.com/research/nhg4vb/global_and_china?w=12

Shang ve ark. (2017), "An Automatic Equalizer Based on Forward-Fly-back Converter for Series-Connected Battery Strings," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 7, pp. 5380-5391.

Shang ve ark. (2015), "A Cell-to-Cell Battery Equalizer with Zero-Current Switching and Zero-Voltage Gap Based on Quasi-Resonant

LC Converter and Boost Converter," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 7, pp. 3731-3747.

Shubiao ve ark. (2017), "A Novel Layered Bidirectional Equalizer Based on a Buck-Boost Converter for Series-Connected Battery Strings," Energies, vol. 10.

Tamma Kumar (2013), Selection of the MOSFET for Faster Cell Balancing of Li-Ion Batteries, Infineon Application Note AN 2013-02

TEHAD (2020). Türkiye 2030 Elektrikli Ulaşım Yol Haritası Çalıştayı <http://tehad.org/2020/04/09/turkiye-2030-elektrikli-ulasim-yol-haritasi-calistay-sonuc-raporu-yayinlandi/>

Tehad J. (2017), "ISO 26262 system level functional safety validation for battery management systems in automobiles," Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore,

Terzi ve ark., (2020), A Review of Commercial Electric Vehicle Charging Methods, Promet – Traffic & Transportation, Vol. 32, 2020, No. 2, 291-307

TMR (2019), Battery Management System Market- Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2019 – 2027 <https://www.transparencymarketresearch.com/battery-management-system-market.html>

Thiruvonasundari ve Deepa (2020), Active cell balancing for electric vehicle battery management system, International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 11, No. 2, pp. 571~579 ISSN: 2088-8694,

TÜBİTAK (2019), <https://challenge.tubitak.gov.tr/assets/batarya-yonetim-sistemleri.pdf>

Wen Simon (2009), Application Report SLUA420, Fast Cell Balancing Using External MOSFET. <https://www.ti.com/lit/an/sl原因420a/sl原因420a.pdf?ts=1608962445985>

Yevgen Barsukov (2015), Battery Cell Balancing: What to Balance and How, Texas

Instruments Inc. <https://www.researchgate.net/publication/265028955>

Zhang ve ark. (2017), 'Effects of Vibration on the Electrical Performance of Lithium-Ion Cells Based on Mathematical Statistics', Applied Sciences, vol. 7, no. 8. p. 802.

Araştırma makalesi

Covid-19'un havacılık sektörüne çevresel etkisi: Adnan Menderes Havalimanı örneği

Büşra Nur Keskin^{1,*}, Prof.Dr. Özge Yalçın Erçoşkun,²

¹ Department of Traffic Planning and Implementation, Gazi University, Ankara, Turkey

² Department of City and Regional Planning, Faculty of Architecture, Gazi University, Ankara, Turkey

*Correspondence: bnk.busranurkeskin@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.880466

Özet: Havacılık faaliyetlerinin atmosferde hava kalitesini etkileyen emisyonlara neden olduğu gözardı edilemeyecek seviyededir. Uçakların iniş/kalkış sayıları ve seyir aşamalarında harcadıkları yakıt sonucu oluşan sera gazları ile hava kirleticilerinin küresel ısınmaya etki ettiği daha önce yapılan bilimsel çalışmalarla desteklenmiştir. Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların bir günlük çevreye etki ettikleri emisyon oranları pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde hesaplanmış, pandemi sonrası seyir sayısındaki azalışın bir günlük çevreye olan etkisini ortaya çıkararak çevresel farkındalık oluşturmak amaçlamıştır. İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda uçuşların LTO (Landing and Take-off Cycle / İniş-kalkış) esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları ve hava kirleticileri IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change /Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından önerilmiş olan Tier yaklaşım metodolojisi ile hesaplanmıştır. Uçak tiplerine göre incelemeler yapıldığında, emisyon miktarı olarak atmosfere en çok emisyon salımı yapan uçak tipi tespit edilmiştir. Seyir kısıtlarının kalkması ve havalimanında ki uçuş sayılarının artmasıyla birlikte emisyon değerlerinin tekrar yükselişe geçeceği bilinmektedir. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde sefer sayısındaki azalışın bir günlük etkisi ortadadır. Havayolu taşımacılığının atmosfere bıraktığı sera gazı ve hava kirleticilerinin bir gün içerisinde ve bir havalimanı üzerinde incelenmiş olması, konunun ciddiyetini ve alınması gereken tedbirlerin bir an önce yapılması gerektiğini ortaya çıkartmıştır.

Anahtar Kelime: Ulaşım, Hava Kirleticileri, Uçuş Veri Kayıtları, Tier, Adnan-Menderes Havalimanı

Environmental impact of Covid-19 on the aviation industry: The case of Adnan Menderes Airport

Abstract: It cannot be ignored that aviation activities cause emissions in the atmosphere that affect air quality. Previous scientific studies have shown that the number of landing/take-offs of the aircraft and the greenhouse gases generated as a result of the fuel they spend during the cruise stages and air pollutants affects global warming. Considering these factors, the emission rates of all flights in an airport within 24 hours have been calculated to be before and after the pandemic for a day, and it is aimed to create an awareness that will reveal the effect of the decrease in the number of trips after the pandemic on the environment for a day. The greenhouse gas emissions and air pollutants generated by flights during LTO (Landing and Take-off Cycle) at İzmir Adnan Menderes Airport were calculated using the Tier approach methodology proposed by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). When examinations are made according to aircraft types, the type of aircraft emitting the most emission to the atmosphere has been determined. It is known that with the removal of cruise restrictions and the increase in the number of flights at the airport, emission values will rise again. In the evaluations made within the scope of the study, the one-day effect of the decrease in the number of trips is obvious. Therefore, in the following processes, taking into account these rates, methods such as green airport practices to reduce emission rates at airports, reducing passenger loading and unloading service times, reducing the number of flights by keeping aircraft occupancy rates at a high level will reduce the effect of greenhouse gases and air pollutants on global warming. In the fact, the greenhouse gases and air pollutants released into the atmosphere by air transport were examined within a day and on an airport, revealing the seriousness of the issue and the measures to be taken as soon as possible.

Key words: Transportation, Air Pollutants, Flight Data Records, Tier, Adnan Menderes Airport

* Corresponding author;

E-mail address: bnk.busranurkeskin@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9089-5132, 0000-0003-2734-0374 (in hierarchical order)

Received 15 February 2021; accepted 30 April 2021

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

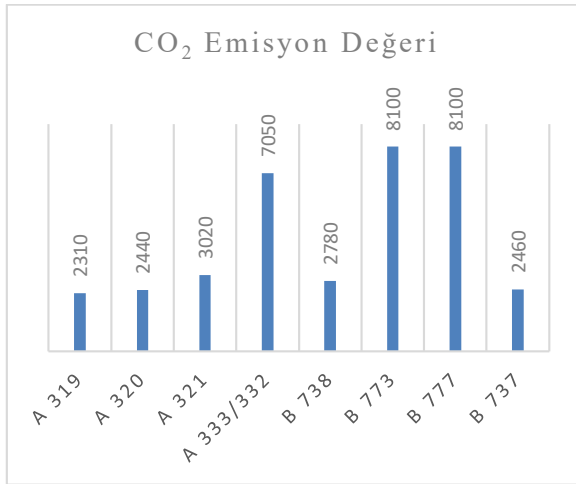
Sera gazı emisyonu, CO₂ salınımı gibi çevre kirliliğini etkileyen faktörler son zamanlarda tüm dünyada en dikkat çeken konulardan biri haline gelmeye başlamıştır. Ulaştırma sektörünün, dünya çapındaki karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %25'ini oluşturduğu ifade edilmektedir. 2018 yılında ulaştırma sektörünün ulusal enerji tüketimine %27,6 katkıda bulunduğu tespit edilmiş ve sanayi sektöründen sonra enerji tüketiminde ikinci sırada olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla ulaştırma sektörünün çevre ile ilişkisi yadsınamaz bir hâle gelmektedir. Günümüzde birden fazla ulaştırma modu vardır. Bu modların her birinin çevreye verdiği hava kirleticilerinin ve emisyon salınım oranlarının farklı olduğu bilinmektedir. (“On Birinci Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonları,” n.d.) (T.C. Strateji ve Bütçe Bakanlığı, 2021). Ulaşım modlarından biri olan havayolu taşımacılığı giderek önem kazanmakta ve günümüzde giderek tercih edilen bir mod olmaya başlamıştır. Dünya geneline bakıldığında da yeni havalimanlarının oluşturulması, uçak sayılarının ve sefer sayılarının artması bu teoremi destekler niteliktedir. Hükümetler arası iklim değişikliği paneline göre; iklim değişikliğinde insanın sebep olduğu CO₂ salımlarının %2'sinin sivil havacılığın etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiş, bu oran 2050 yılına kadar % 3 ulaşabileceği tahmin edilmektedir (EkoYapı, 2015). Havaalanı faaliyetlerinden kaynaklı salımların toplam havacılık salımlarının % 5'ine denk geldiği hesap edilmiştir (IPCC, n.d.). Dolayısıyla ekonomik ve sosyal kalkınma açısından havayolu taşımacılığının bir artışı olduğu kadar, çevresel açıdan verdiği zarara da dikkat edilmesi gerekmektedir (Simpson, 2008). Bu çalışmada hava yolu taşımacılığında kaynaklanan çevre kirleticileri ve CO₂ salınımı üzerinde durulmaktadır. Uçakların iniş/kalkış sayıları ve seyir aşamalarında harcadıkları yakıt sonucu oluşan sera gazları ile hava kirleticilerinin küresel ısınmaya etki ettiği daha önce yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların bir günlük çevreye ettiklerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Günümüzde uçak sayılarının ve sefer sayılarının giderek arttığı dönemde, bu durumu tam terine dönüştüren COVID-19

salgını karşımıza çıkmaktadır. Küresel bir salgın olan COVID-19 her sektörde olduğu gibi havayolu taşımacılığı sektörünü de durma noktasına getirmiştir. Mart 2020'nin ortalarında hava yolculuğu tüm dünyada önemli ölçüde düşmeye başlamıştır (Hotle & Mumbower, 2021). Bu durağanlığı ve düşüşü göz önünde bulundurularak bir havalimanında 24 saat içinde gerçekleşen tüm uçuşların emisyon oranları, pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde hesaplanarak pandemi sonrası seyir sayısındaki azalışın bir günlük çevreye (hava kirliliğine) olan etkisini ortaya çıkaracak bir farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır.

2. Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar

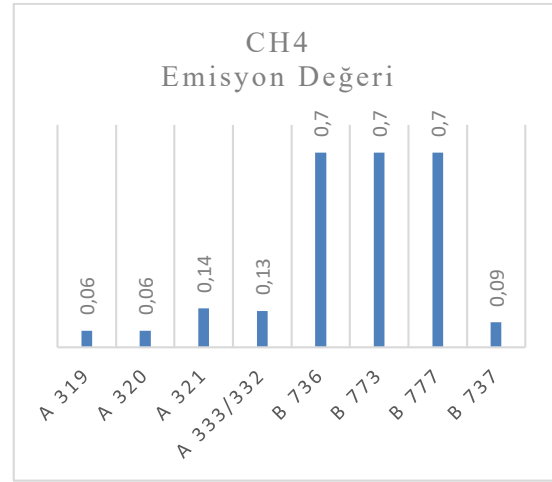
İnsan aktivitelerinden ortaya çıkan ve atmosfere salınan sera gazları, sanayi devriminden sonra giderek artış göstermiştir (Shepherd, 1998). Sera gazı üretimine sebep olan en büyük faktörlerden biriside ulaşım sektörü olarak ifade edilmektedir (USLU ŞENEL & ATABEY, 2020)(KESGIN, 2006). Son zamanlarda giderek gelişim gösteren havacılık sektörü ile beraber artmakta olan uçak sayısı ve sefer sayıları da hava kirliliğine katkı sağlayan en önemli etkiler arasında olduğu bilinmektedir (Kumaş et al., 2019). (Pecorari et al., 2016), (Song et al., 2015), yaptığı çalışmada Avrupa'daki mevcut uçuş sayısının tahminen 2025 yılında %32'lik artışla 2,3 milyon uçuşa ulaşabileceğini öne sürmüştü ve bu artışın hava kirliliği üzerinde olumsuz bir etki yaratacağını vurgulamıştır. Hava yolu taşımacılığında kaynaklanan salımların büyük bir çoğunluğu uçakların uçuşları sırasında atmosfere saldıkları kirleticilerle, kalkış-iniş esnasında tükettikleri yakıtlardan kaynaklandığı ifade edilmiştir (Akyüz et al., 2019)(EKİCİ & ŞÖHRET, 2020)(Stacey et al., 2021), (Ekici et al., 2013). Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar ise; CO₂ (karbondioksit), CH₄ - Metan, N₂O- Diazaot Monoksit, NO_x - Azot Oksitler, CO- Karbon Monoksit, NMVOC Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler, SO₂- Kükürt Dioksit olarak ifade edilmiştir. (IPCC, n.d.) göre her bir uçak modelinin kendi teknik özelliklerine göre farklılık gösteren emisyon değerleri vardır. CO₂ - Karbondioksit sera gazı etkisine sahip olan gazların başında saydam bir gaz olarak ifade edilmiştir. Bu saydam gazın doğal yollardan bitki örtüsü ve okyanuslar tarafından absorbe

edildiği ve üretildiği de bilinmektedir. Fosil yakıt kullanımının artması, kararlı ve radyoaktif yapıdaki karbon izotoplarındaki azalma CO₂ salımının artmasına neden olduğu gibi atmosferdeki oksijen miktarının azalmasında atmosferde ki CO₂ miktarının artması ile bağlantılı olduğu ifade edilmektedir. Kullanılan uçak modellerine göre kaynaklanan CO₂ emisyonu Şekil 1’de gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, karbondioksit salımı en az olan uçak türü A 319, en fazla olan ise B 773-B777’dir.



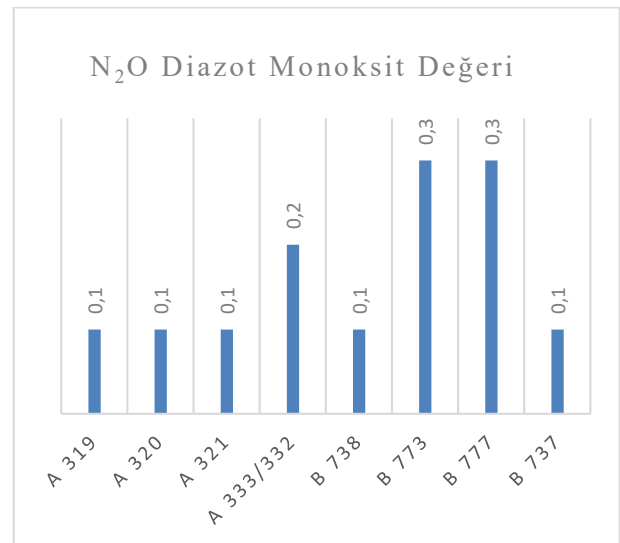
Şekil 1. Uçak türlerine göre CO₂ emisyon değeri

CH₄ - Metan gazının ise sera gazı etkisinin %20’sini meydana getirdiği ifade edilmiştir. Bu maddenin, karbondioksite nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynadığı bilinmektedir. Dünya çapındaki ısınma nedeni ile anaerobik çürümenin hızlanmasına karşın CO₂ kadar metan üretiminin de arttığı belirtilmiştir. Ayrıca Metan gazının oluşmasında insan faaliyetlerinin de katkısı olduğu kanısına da varılmıştır. Şekil 2’de uçak türlerine göre oluşan CH₄ gazı gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, az CH₄ salınım yapan uçak A 319- 320 iken en fazla ise A 321’dir.



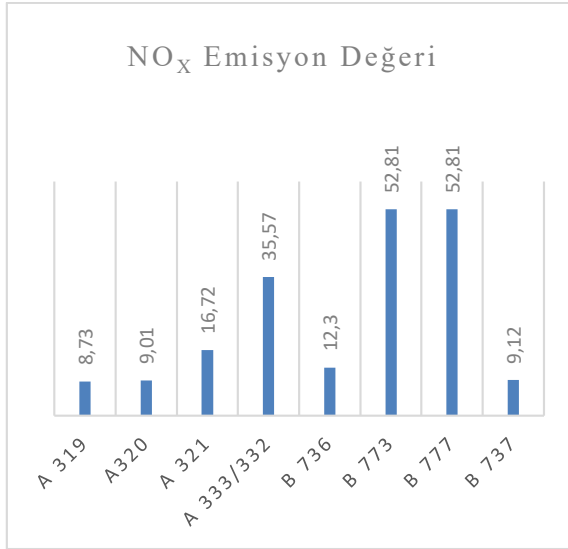
Şekil 2. Uçak türlerine göre CH₄ emisyon değeri

N₂O – Diazot Monoksit gazı sera etkisinin %8’ni oluşturduğu tahmin edilmektedir (Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, n.d.). İnsan faaliyetleri sonucunda üretilmesinde en büyük payı, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanımı, özellikle ulaşımda kullanılan fosil kayıtlar, nitrik asit üretimi, atık su arıtımı ve atık yakılması gibi faktörlerin Diazot monoksit oluşumunda etkisi olduğu akademik çalışmalarla desteklenmiştir. Şekil 3’de uçak türlerine göre oluşan N₂O gazı salımı gösterilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre değerler arasında büyük bir fark gözetmeksizin en yüksek salıma sahip uçak türünün B773- B777’dir.



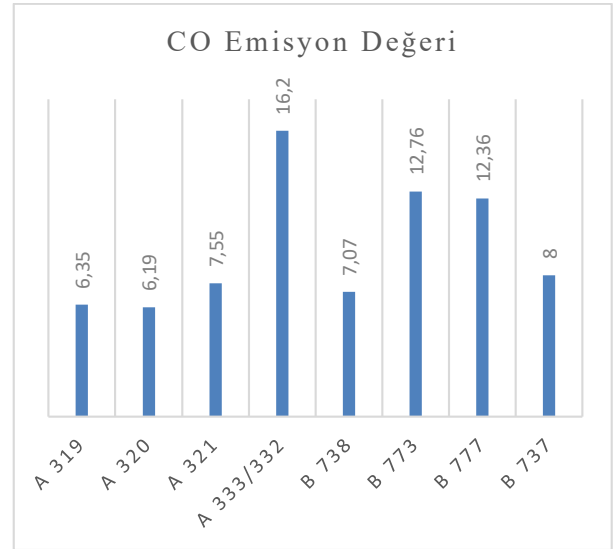
Şekil 3. Uçak türlerine göre N₂O diazot monoksit değeri

NO_x- Azot Oksitlerin (NO ve NO₂ vb.) temel iklim değişimlerine doğrudan olmasa bile dolaylı olarak etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyonları metan konsantrasyonunun azalmasında etkisi olduğu ifade edilmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, Şekil 4’de uçak modellerine göre çevreye salınan NO_x’lerin oranları gösterilmiştir. A 319 en düşük salıma sahip iken, B 777- B773 uçak modellerinin en yüksek salıma sahip olduğu görülmektedir.



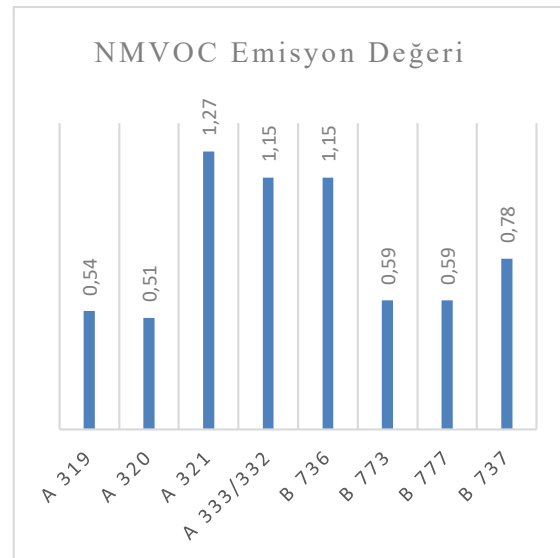
Şekil 4. Uçak modellerine göre NO_x emisyon değerleri

CO- Karbon Monoksit; karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucunda oluşan bir gaz olup atmosferdeki doğal prosesler sonucunda CO₂ şeklini aldığı belirtilmektedir. Ayrıca bu gaz konsantrasyonlarının atmosferde kısa ömürlü olduğu ve konumlarına göre değişiklik yaptığı da belirtilmektedir. (IPCC, n.d.) verilerine göre Şekil 5’te uçak modellerine göre havaya salınan CO gazı değerlerini göstermektedir. CO emisyon değeri en düşük olan A320 en yüksek olan uçak modeli ise A 333/332’dir.



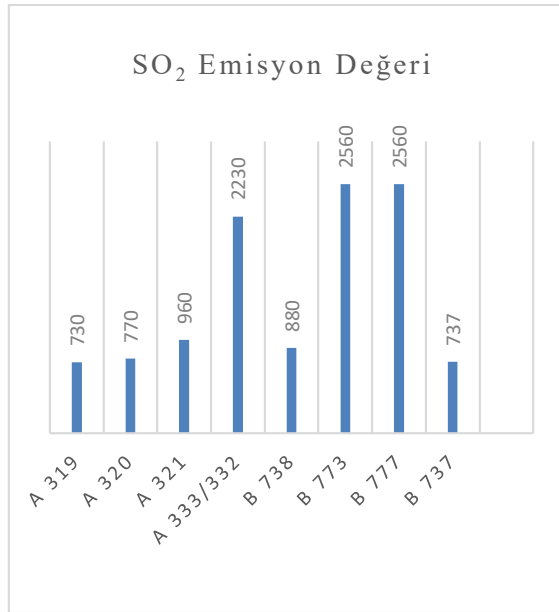
Şekil 5. Uçak modellerine göre CO emisyon değerleri

NMVOC- Metan haricindeki uçucu organik bileşiklerin emisyonları temel olarak ulaştırmadan, sanayi işlemlerinden, biokütlelerin yakılmasından ve organik çözücülerin endüstri dışı tüketiminden kaynaklandığı ifade edilmiştir.(IPCC, n.d.) verilerine göre Şekil 6 uçak modellerine göre ortaya çıkan NMVOC bileşiklerin salım oranlarını göstermektedir. En fazla salıma sahip olan uçak modeli A 321 iken en az salım oranı A 320 olduğu görülmektedir.



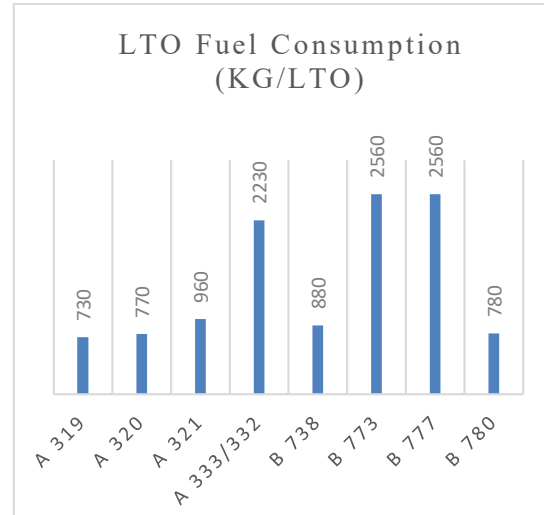
Şekil 6. Uçak modellerine göre ortaya çıkan NMVOC

SO₂- Kükürt Dioksit; hava kirliliğine neden olan kükürt dioksit, ölümlere ve hastalıklara yol açan maddeler arasında yer almaktadır. Kükürt dioksitin taşınması konusunda ise sadece kömürlü termik santrallerde bulunmadığı, partiküllerin rüzgâr yoluyla farklı bölgelere taşındığı ifade edilmiştir. Greenpeace Hindistan'ın NASA Ozon Görüntüleme Aracı / Ozone Monitoring Instrument (OMI) görüntülerinden faydalanarak hazırladığı rapor, 2018 yılında Türkiye'nin insan faaliyetleri kaynaklı kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarında dünyada 10. sırada bulunduğunu belirtmiştir. (IPCC, n.d.) verilerine göre, Şekil 7'de uçaklardan kaynaklanan kükürt dioksit salım oranları gösterilmiştir. Salım oranı en az A 319 iken en fazla orana sahip uçak modelleri B 773/ B 777 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Uçak modellerine göre ortaya SO₂

(IPCC, n.d.) verilerine göre uçak modellerinin yakıt tüketimi ise Şekil 8'de gösterilmiştir. En az yakıt tüketiminde bulunan uçak modelinin A 319, en fazla yakıt tüketiminin olduğu uçak modeli ise B 773- B 777 olduğu görülmektedir.



Şekil 8. LTO fuel consumption (KG/LTO)

Tüm bu veriler göz önünde bulundurulduğunda hava yolu taşımacılığının çevre ile ilişkisi adına literatürde birden fazla çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür (Cote, M., Collings, R., Pilcher, R., Talkington, C., & Franklin, 2004), (Naugle & Fox, 1981). (Ashworth et al., 2020), çalışmasında Londra'da uçaklardan kaynaklanan bölgesel hava kirliliği üzerine bir vaka çalışması yapılmıştır. (Zvyagintseva et al., 2020), ise çalışmasında aktif uçak motorlarından kaynaklanan kirlenici emisyon parametrelerini göz önünde bulundurarak yüzey gazlarından oluşan kirliliği azaltmak için çözüm önerilerinden bahsetmiştir. (Zaporozhets & Synlyo, 2017), havalimanı alanı içinde uçak motoru emisyonu ve emisyon envanter değerlendirilmesinde iyileştirme önerilerinde bulunmuştur, yapılan bu çalışmada yerel hava kalitesi üzerinde analizler yapıldığı görülmektedir. Havalimanlarında bölgesel anlamda hava kalitesi çalışmalarının yapıldığı çalışmalarda karşımıza çıkmaktadır (SCHAEFER et al., 2008). Genel ve bölgesel çalışmaların yanında uçaklardan kaynaklanan emisyonlar da kendi arasında geniş bir çalışma yelpazesine sahiptir. Bu alanda yapılan çalışmalarda farklı yöntem ve analizler kullanılarak sayısal verilere dayalı öneri ve iyileştirilmelerde bulunduğu literatürde görülmektedir. (Vedantham & Oppenheimer, 1998), çalışmada havacılık sektörü için uzun vadeli senaryolar için CO₂ ve NO_x emisyonlarını değerlendirmiştir. (Macintosh & Wallace, 2009), 2025 yılına kadar uluslararası havacılık sektöründen kaynaklanan emisyonların kısıtlanmadan önüne geçilebilir mi sorusuna yanıt aramıştır. (Schürmann et al., 2007), NO_x, CO ve VOC emisyonlarının Zürih

havalimanının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Havalimanında uçağın iniş ve kalkış (LTO) aktivitelerinden kaynaklanan emisyonlar içinde yapılan birçok çalışmalar mevcuttur. (Hsu et al., 2012) , Workwich T.F. Green Havalimanında LTO verilerini kullanarak Ultrafine partikül konsantrasyonlarının etkilerini belirlemiştir. (BABAĞLU, N., & ÖZGÜNOĞLU, 2017), (Kumaş et al., 2019), çalışmalarında belirledikleri havalimanlarının uçuşlardan kaynaklanan karbon ayak izini Tier yöntemi ile belirlemişlerdir. 1988’de Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından oluşturulan IPCC’nin amacı, her düzeydeki hükümlere iklim politikalarını geliştirmek için kullanabilecekleri bilimsel bilgileri sağlamak olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada İzmir Adnan Menderes Havalimanında uçakların LTO esnasında oluşturduğu sera gazı emisyonları ve hava kirleticileri, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change/ Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımıyla belirlenmiş metodolojiye göre tahmin edilmiştir.

3. Adnan Menderes Havalimanı (Çalışma Alanı)

Coğrafi Koordinatları: 38°17’21"N, 27°09’18"E olan, Adnan Menderes Havalimanı 17 Kasım 1897 yılında işletmeye açılmıştır. Havalimanında 2 pist (paralel) bulunmaktadır, bu pistler uzunluk olarak 3.240 m, genişlik olarak 45m’lik olduğu belirtilmiştir. 2 adet terminale (iç / dış hatlar) sahip olan havalimanının toplam terminal binası büyüklüğü 310.978 m² olarak belirtilmiştir. İç Hatlar; terminal binası oturma alanı: 63.210,46 m², terminal binası toplam alanı: 203.279 m², 20 milyon yolcu/yıl kapasitelidir. Dış Hatlar Terminal binası oturma alanı 33.648,50 m², toplam alanı 107.699

m² olup, 10 milyon yolcu/yıl kapasitelidir. (DHMİ., n.d.).

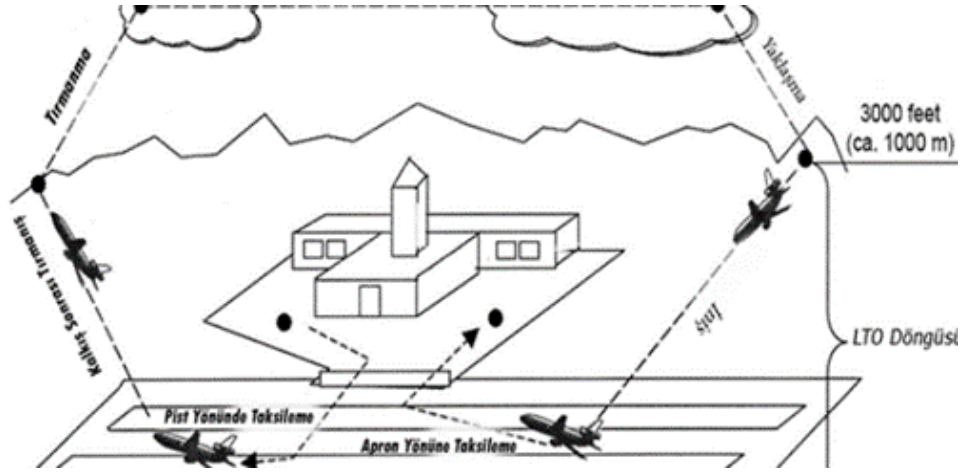
4. Emisyonların Belirlenmesi (Metot)

Bu çalışmada, IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) kılavuzunda yer alan “Enerji” başlığı altındaki yakıt yanması emisyonlarından yararlanılmış. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların yanma koşulları, teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi faktörlerin hesaplanabilmesi için karşımıza Tier yöntemi çıkmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre Tier 1 ve Tier 2 yöntemi kullanılmıştır.

(IPCC, n.d.) Kılavuzuna göre; Tier 1; ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt miktarı ve default emisyon faktörleri şeklinde tanımlanmaktadır. En basit hali ile Tier 1 metodu havayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonları bulmak için (1) nolu eşitlikte gösterildiği gibi havacılıkta LTO ve seyir faaliyetlerinde tüketilen yakıt miktarı ile uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörünün çarpılması ile hesaplanmaktadır. Şekil 9’da LTO döngüsü gösterilmektedir. LTO döngüsünün 1000 m altındaki tüm faaliyetleri içerdiği, seyrin ise 1000 m üstündeki tüm faaliyetleri ve tırmanma aşamasının sonundan iniş aşamasının sonuna kadar geçen faaliyetler olarak tanımlanmıştır (IPCC, n.d.).

Emisyon Miktarı= Emisyon Faktörü × Yakıt Tüketimi (1)

Havacılıkta kullanılan yakıtların %1’den daha az kısmı uçak benzininden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar jet yakıtına göre yapılmaktadır.



Şekil 9. LTO döngüsü (IPCC, 2006)

Çalışmada kullanılacak olan bir diğer yöntem olan Tier 2 IPCC kılavuzuna göre; ulusal enerji istatistiklerinden yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı, yakıt karakteristiğine bağlı olarak belirlenmiş ülkeye özel emisyon faktörleri olarak tanımlanmıştır. Bu yöntem sadece jet yakıt kullanan jet motorlu uçakları için kullanılmaktadır. Tier 2 metodunun uygulanabilmesi için LTO sayısı ve uçak türlerinin bilinmesi gerekmektedir. Pandemi

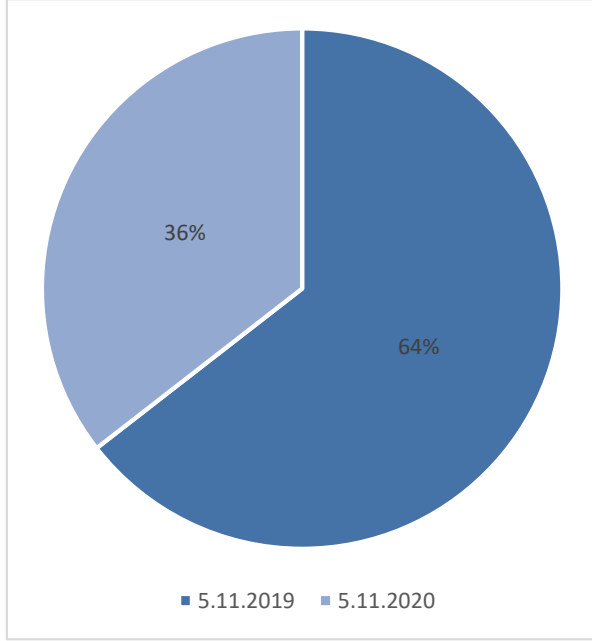
öncesi ve sonrası olacak şekilde belirlenen tarihlerde (05.11.20- 05.11.19) Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak çeşitleri ve uçaklara ait LTO sayıları yetkili birimlerden elde edilmiş, IPCC’da yer alan emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi (2) nolu eşitlikte gösterildiği gibi değerlerin çarpılmasıyla bulunmaktadır. Tablo 1’de Uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörleri gösterilmiştir.

$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO sayısı} \times \text{LTO Emisyon Faktörü (2)}$$

Tablo 1. Uçak tiplerine göre IPCC emisyon faktörleri

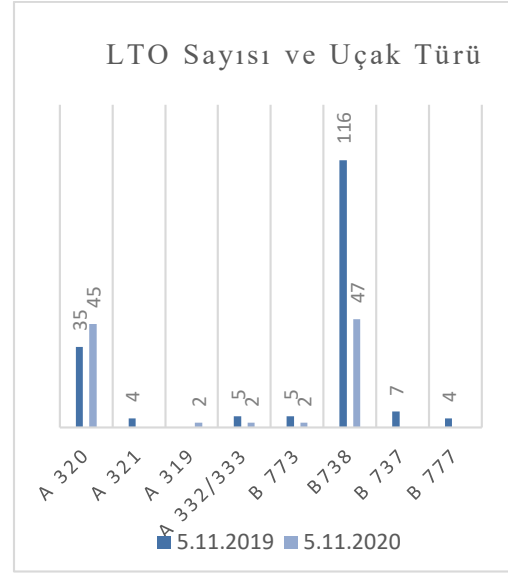
Uçak Tipi	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂	Yakıt Tüketimi
A 319	2310	0,06	0,01	8,73	6,35	0,54	0,73	730
A320	2440	0,06	0,01	9,01	6,19	0,51	0,77	770
A 321	3020	0,14	0,1	16,72	7,55	1,27	0,96	960
A 332/333	7050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2230
B 738	2780	0,07	0,1	12,30	7,07	0,65	0,88	880
B 773/777	8100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2,56	2560
B 737	2460	0,09	0,1	9,12	8,00	0,78	0,78	780

Pandemi öncesi ve sonrası çalışma kapsamında incelenen tarihlerdeki Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak sayısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Adnan Menderes Havalimanında bulunan uçak sayısı

Tier 2 yönteminin kullanılabilmesi için uçak türlerinin bilinmesi gerektiği ifade edilmiştir. Şekil 11'de 05.11.2019/ 05.11.2020 tarihlerinde Adnan Menderes Havalimanı uçak filosunda bulunan uçak türleri ve LTO satıları gösterilmiştir.



Şekil 11. 5.11.19/ 5.11.20 LTO sayısı ve uçak türü

5. Bulgular

Tier 1 ve Tier 2 yöntemi kullanılarak pandemi öncesi ve sonrası olacak şekilde farklı yıllarda

aynı gün gerçekleşen uçuşların emisyon oranları hesaplanmıştır. Bu veriler Tablo 2-3 gösterilmektedir.

Tablo 2. 05.11.2019 emisyon oranları (24 saat)

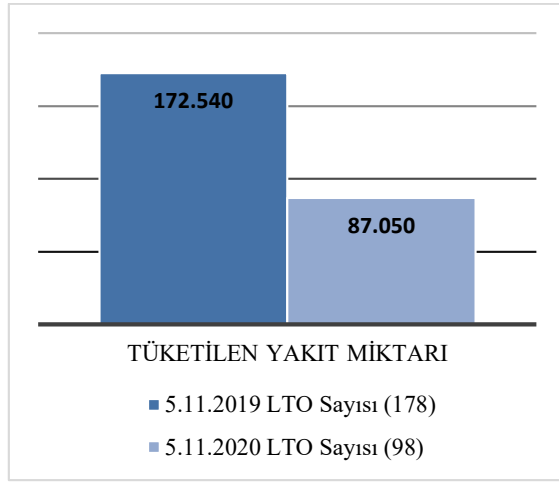
Uçak Tipi	LTO Sayısı	CO2	CH4	N2O	NOX	CO	NMVOC	SO2	Tüketilen Yakıt
A 320	35	85.400	2,1	3,5	315,35	216,65	17,85	26,95	26.950
A 321	4	12.080	0,56	0,4	66,88	30,2	5,08	3,84	3.840
A 332	4	28.200	0,52	0,8	142,28	64,8	4,6	8,92	8.920
A 333	1	7.050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2.230
B 738	116	322.480	8,12	11,6	1.426,8	8,12	75,4	102,08	102.080
B 773	5	40.500	0,35	1,5	264,05	63,8	2,95	12,8	12.800
B 737-700	7	17.220	0,63	0,7	63,84	56	5,46	5,46	5.460
B 777	4	32.400	0,28	1,2	211,24	51,04	2,36	10,24	10.240

Tablo 3. 05.11.2020 emisyon oranı (24 saat)

Uçak Tipi	LTO Sayısı	CO2	CH4	N2O	NOX	CO	NMVOC	SO2	Tüketilen Yakıt
A 319	2	4.620	0,12	0,2	17,46	12,7	1,08	1,46	1.460
A 320	45	109.800	2,7	4,5	405,45	278,55	22,95	34,65	34.650
A 333	2	14.100	0,26	0,4	71,14	32,4	2,3	4,46	4.460
B 773	2	16.200	0,14	0,6	105,62	25,52	1,18	5,12	5.120
B 738	47	130.660	3,29	4,7	5781,1	332,29	30,55	41,36	41.360

Tablo 2-3’de görüldüğü gibi yakıt tüketimine bakıldığında LTO sayısı arttıkça yakıt tüketimi de artmıştır. LTO sayısı aynı olan uçaklar kendi içinde karşılaştırıldığında çevreci uçaklar ortaya çıkmaktadır. Emisyon oranları düşük olan uçakların salım oranlarının düşük olduğu görülmektedir. Tüketilen yakıt miktarına bakıldığında ise 05.11.19 tarihinde 172.540

Kg/LTO iken 05.11.20 tarihinde bu miktar 87.050 Kg/ LTO olduğu görülmektedir. İki tarih arasındaki uçak farkının 80 olması, ortaya çıkan yakıt tüketimini neredeyse yarı yarıya indirmiştir. Şekil 12.



Şekil 12 Yakıt tüketimi KG/LTO

Uçak türlerine göre tüketilen yakıt miktarına bakıldığında ise 05.11.19/05.11.20 tarihlerinde B 738 uçak modelinin diğerlerine göre en yüksek yakıt tüketimine sahip olduğu karşımıza çıkmaktadır. (Tablo 4-5)

Tablo 4'te yakıt tüketimi olarak B738, B777/B773 ve A332/A333 uçak tiplerine göre daha çevreci olarak gözükse de LTO sayısındaki fazlalık yakıt tüketimini bu uçaklara nazaran arttırmıştır.

Tablo 4. 05.11.2019 uçak türleri, LTO sayıları, yakıt tüketimi

Uçak Tipi	Yakıt Tüketimi (kg/LTO) (1 uçak için)	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi Birim*LTO sayısı
A 320	770	35	26.950
A 321	960	4	3.840
A 332	2230	4	8.920
A 333	2230	1	2.230
B 738	880	116	102.080
B 773	2560	5	12.800
B 737-700	780	7	5.460
B 777	2560	4	10.240

Tablo 5. 05.11.2020 uçak türleri, LTO sayıları, yakıt tüketimi

Uçak Tipi	Yakıt Tüketimi (1 uçak için)	LTO Sayısı	Yakıt Tüketimi Birim*LTO sayısı
A 319	730	2	1460
A 320	770	45	34.650
A 333	2230	2	4.460
B 773	2560	2	5.120
B 738	880	47	41.360

6. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışma neticesinde Adnan Menderes Havalimanında bir günde uçaklardan kaynaklanan emisyon oranları ortaya çıkarılmış, çevreye olan etkisi sayısal verilerle desteklenmiştir. Giderek artan hava yolu taşımacılığının COVID-19 salgını sebebiyle gerilemesi ve neredeyse durağan hale gelmesi sefer sayısındaki azalışın çevreye bıraktığı bir günlük etki ortaya çıkarılmıştır. Sefer sayısının azalması ile emisyon oranında azalmasını

tahmin etmek güç değildir, fakat burada bu durumun sayısal verilerle ve kullanılan yöntemlerle desteklenmesi durumun ciddiyetini göstermektedir. Çalışma neticesinde İzmir Adnan Menderes Havalimanında B 738 uçağının daha fazla tercih edildiği görülmektedir, ikinci sırada ise A 320 uçak tipinin tercih edilmiştir. Pandemi öncesi sonrası karşılaştırma yapıldığında karşılaşılan bir durum ise uçak tiplerindeki azalış olmasıdır.

Giderek artan ve yapılan literatür çalışmasında da gelecek yıllarda yüzdelik dilimde artış gösterecek olan havayolu taşımacılığı için emisyon oranının azaltılmasında ne gibi yöntemler kullanılmalı sorusuna cevap aranmıştır. Gelecek yıllarda sefer sayısını azaltamayacağımızdan uçakların mevcut doluluk durumları kontrol edilebilir, çevreci yakıtlar tercih edilebilir, yolcu indirme-bindirme servis zamanları azaltılabilir, yakıt yönetimi ve takip yazılımları uygulanabilir, uçak ağırlıklarının azaltılması da emisyon oranlarını düşürmenin de emisyon oranındaki azalmaya katkıda bulunduracağı düşünülmektedir. Ayrıca yeşil sertifikalı havalimanları uygulamaları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Son zamanlar havacılık sektöründe gündeme gelen çevreci uçaklar ve uçak teknolojisinde kullanılması hedeflenen biyo yakıtların ön plana çıkacağı ve elektrikle çalışan uçak modellerinin kullanımından söz edilmiştir. Dolayısıyla bu tür gelişimlerin havayolu taşımacılığının daha çevreci bir yaklaşıma sahip olmasıyla birlikte salınan zararlı emisyonların azalmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma neticesinde bir günlük emisyonlar göz önünde bulundurulduğunda yapılan her uygulama ve gelişimin havacılık sektöründe nedenli önemli olduğunu ifade edilmek istenmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı beyanı
Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve teşekkür beyanı

Destek ve Teşekkür edilecek bir kurum ya da kişi yoktur.

Çıkar çatışması beyanı

Havalimanı Müdürlüğü açısından bir çıkar çatışması yoktur, çalışmada kullanılan veriler DHMİ, Adnan Menderes Havalimanı, TAV belirtilen kurum ve kuruluşların resmî web sitelerinden yararlanılmış olup veri desteğinde bulunulmuştur.

Kaynakça

Akyüz, A. Ö., Kumaş, K., İnan, O., & Güngör, A. (2019). Muğla Hava Trafikinin Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291–297. <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>

Ashworth, K., Bucci, S., Gallimore, P. J., Lee, J., Nelson, B. S., Sanchez-Marroquín, A., Schimpf, M. B., Smith, P. D., Drysdale, W. S., Hopkins, J. R., Lee, J. D., Pitt, J. R., Di Carlo, P., Krejci, R., & McQuaid, J. B. (2020). Megacity and local contributions to regional air pollution: an aircraft case study over London. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(12), 7193–7216. <https://doi.org/10.5194/acp-20-7193-2020>

Babaoğlu, n., & Özgünoğlu, k. (2017). Kahramanmaraş Havalimanı İçin Uçaklardan Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 24–30. <http://jes.ksu.edu.tr/en/download/article-file/356059>

Cote, M., Collings, R., Pilcher, R., Talkington, C., & Franklin, P. (2004). *Methane emissions from abandoned coal mines in the United States: emission inventory, methodology and 1990-2002 emissions estimates.*

DHMİ. (n.d.). *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü İzmir Adnan Menderes Havalimanı.* Retrieved January 19, 2021, from <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Adnanmenderes/AnaSayfa.aspx>

Ekici, s., & Şöhret, y. (2020). İsparta Süleyman Demirel Havalimanında ticari uçuşlar kaynaklı egzoz emisyonlarının çevresel etkileri ve maliyet değerlendirmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 597–604. <https://doi.org/10.21923/jesd.709428>

Ekici, S., Yalin, G., Altuntas, O., & Karakoc, T. H. (2013). Calculation of HC, CO and NO_x from civil aviation in Turkey in 2012. *International Journal of Environment and Pollution*, 53(3/4), 232. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2013.059919>

EkoYapı. (2015). *Çevresel Biyoetik Açısından Sürdürülebilir Havaalanları*. <https://www.ekoyapidergisi.org/1494-cevresel-biyoetik-acisindan-surdurulebilir-havaalanlari.html>

Hotle, S., & Mumbower, S. (2021). The impact of COVID-19 on domestic U.S. air travel operations and commercial airport service. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100277>

Hsu, H.-H., Adamkiewicz, G., Andres Houseman, E., Vallarino, J., Melly, S. J., Wayson, R. L., Spengler, J. D., & Levy, J. I. (2012). The relationship between aviation activities and ultrafine particulate matter concentrations near a mid-sized airport. *Atmospheric Environment*, 50, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.002>

Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks. (n.d.). United States Environmental Protection Agency. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>

IPCC. (n.d.). **Energy.** In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

Kesgin, U. (2006). Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*, 31(2–3), 372–384. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.012>

Kumaş, K., Aksu, H. H., İnan, O., Akyüz, A., & Güngör, A. (2019). *Estimation of carbon dioxide emissions from airplanes: A case study of a turkish airport*. 030043. <https://doi.org/10.1063/1.5135441>

Macintosh, A., & Wallace, L. (2009). International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand? *Energy Policy*, 37(1), 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.029>

Naugle, D. F., & Fox, D. L. (1981). Aircraft and air pollution. *Environmental Science & Technology*, 15(4), 391–395. <https://doi.org/10.1021/es00086a002>

On Birinci Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonları. (n.d.). In *T.C. Strateji ve Bütçe Bakanlığı*. Retrieved January 21, 2021, from <https://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari/#1540024439304-a1816e9a-4191>

Pecorari, E., Mantovani, A., Franceschini, C., Bassano, D., Palmeri, L., & Rampazzo, G. (2016). Analysis of the effects of meteorology on aircraft exhaust dispersion and deposition using a Lagrangian particle model. *Science of The Total Environment*, 541, 839–856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.147>

Schaefer, K., Emeis, S., Carsten, J., Hoffman, H. M., Helmis, C., Scouros, G., Flocas, H., Tombrou, M., Asimakopulos, D., & Halos, C. (2008). 16th International Transport and Air Pollution Congress. *Airport Air Quality Studies in Athens. First Results of Measurement Campaign*. <https://trid.trb.org/view/1084472>

Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E., & Rappenglück, B. (2007). The impact of NO_x, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmospheric Environment*, 41(1), 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.030>

Shepherd, S. (1998). *Towards the Sustainable City: The Impact of Land Use – Transport Interactions. The impact of accessibility and environment coefficients in location choice on transport strategy performance*. <http://eprints.whiterose.ac.uk/2096/>

Simpson, A. (2008). Environmental management planning: A Canadian perspective. *Journal of Airport Management*, 2(5), 110–145.

Song, S.-K., Shon, Z.-H., & Kang, Y.-H. (2015). Comparison of impacts of aircraft emissions within the boundary layer on the regional ozone in South Korea. *Atmospheric Environment*, 117, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.010>

Stacey, B., Harrison, R. M., & Pope, F. D. (2021). Evaluation of aircraft emissions at London Heathrow Airport. *Atmospheric Environment*, 118226.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118226>

Uslu, Ş g., & Atabey, t. (2020). diyarbakır ilinde farklı sektörlerden kaynaklanan karbondioksit salınımının hesaplanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 37–47. <https://doi.org/10.17780/ksujes.676975>

Vedantham, A., & Oppenheimer, M. (1998). Long-term scenarios for aviation: Demand and emissions of CO₂ and NO_x. *Energy Policy*, 26(8), 625–641. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(98\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(98)00021-4)

Zaporozhets, O., & Synylo, K. (2017). Improvements on aircraft engine emission and emission inventory asesessment inside the airport area. *Energy*, 140, 1350–1357. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.178>

Zvyagintseva, A. V, Kulneva, V. V, & Sazonova, S. A. (2020). Analytical calculations of the parameters of pollutant emissions and the justification of methods for reducing surface gas pollution from working aircraft engines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919, 062053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062053>

Derleme Makale

Havacılıkta SWOT analizi: Türkiye için durum değerlendirmesiBüşra Şahin¹, Necla Tektaş²¹Intelligent Transportation Systems, Institute of Science, Bandırma Onyedi Eylül University,
Bandırma, Turkey²Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Econometrics, Bandırma Onyedi
Eylül University, Bandırma, Turkey*Correspondence: busrakocakaya017@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.903416

Özet: Modern yaşamın bir parçası olan ulaştırma sistemleri hem ülke genelinde hem de devletin başka dünya hükümetleriyle iletişim kurmasının en somut yolu olmaktadır. Havayolu ulaşımı; zaman kavramının son derece elzem olduğu günümüz dünyasında, iş seyahati ya da eğlence seyahati amacıyla yapılan yolculuklarda, sağladığı konfor ve güven sayesinde çokça tercih edilen bir ulaştırma biçimidir. Türkiye üç kıtayı birbirine bağlayarak transit uçuşlarda bir merkez olmuştur. Havacılık sanayimiz uluslararası alanda rekabet edecek seviyede olmasa dahi insanların yaşam standardının yükselmesi ister yurt içi ister yurt dışı uçuşları için yeni fırsatlar doğurmuştur. Öte yandan ülkemizi de içine alan coğrafyada hüküm süren savaş ortamı havayolu taşımacılığının gelişimini engellemektedir. Bu değişken taleple birlikte Türk sivil havacılığı da farklı yapılar ile varlığını korumaya ve geliştirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada stratejik yönetim sürecinde sıkça kullanılan ve Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler anlamına gelen SWOT Analizinden faydalanılmıştır. Çalışmanın amacı Türkiye’de sivil havacılığın durum değerlendirmesini yapmaktır. Ulusal sivil havacılığının içsel faktörlerini oluşturan güçlü ve zayıf yanları ile Türk sivil havacılığını etkileyen dışsal faktörler fırsat ve tehditler olarak ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Havayolu ulaşımı, SWOT analizi, sivil havacılık

SWOT Analysis of aviation: Assessment of the situation in Turkey

Abstract: Transport systems, which are a part of modern life, are the most concrete way of communicating both across the country and with the governments of the other world. Air transport; In today's world, where the concept of time is extremely essential, it is a highly preferred mode of transportation, thanks to the comfort and confidence it provides, for business travel or leisure travel purposes. Turkey has become a center of transit flights linking three continents together. Even if our aviation industry is not at a level to compete in the international arena, the rise of people's living standards has created new opportunities for domestic or international flights. On the other hand, the war environment prevailing in the geography including our country prevents the development of airline transportation. With this variable demand, Turkish civil aviation tries to protect and develop its existence by gaining different structures. In this study, SWOT Analysis, which means Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats and which is frequently used in the strategic management process, is used. The aim of the study is to assess the situation of civil aviation in Turkey. The strengths and weaknesses that constitute the internal factors of our national civil aviation and the external factors affecting our aviation are considered as opportunities and threats.

Key words: Airline transportation, SWOT analysis, civil aviation

* Corresponding author;

E-mail address: busrakocakaya017@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9800-6838; 0000-0002-8190-4532 (in hierarchical order)

Received 25 March 2021; accepted 30 April 2021

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Sosyalleşmenin en güçlü vasıtalarından biri olan ulaşım; ilk çağlardan günümüze dönüşerek, çeşitlenerek ve yenilenerek yük ve yolcu taşımacılığını mümkün kılmıştır. Ulaştırma sistemlerinden birisi olan havacılık, insanoğlunun hemen hemen her dönemde merakını cezbetmiş bunun neticesinde de sürekli gelişim göstermiştir.

Dünya çapında havadan ağır hava araçlarının temelleri Leonardo Da Vinci'nin çizimlerine dayandırılmaktadır. Modern anlamda ilk başarılı uçuş ise 1903 yılında Wilbur ve Orville Wright kardeşler tarafından gerçekleştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşında askeri amaçla kullanılan uçakların yerini 1958'de Boeing şirketinin jet motorlu uçaklar almıştır. Türk havacılık tarihinde ise ilk uçuş denemesi İmam Cevheri tarafından gerçekleştirilmiştir. Osmanlı Devleti 1912'de Tayyare Mektebini açarak Türk havacılığının gelişmesine önemli katkıda bulunmuştur. Cumhuriyet döneminde ise, kurulan Türk Tayyare Cemiyeti ve Türk Hava Postaları ilerleyen dönemlerde isim değiştirerek hizmet vermeye devam etmiştir. 2. Dünya Savaşı sonrasında ABD hükümetinin Marshall Planı çerçevesinde yaptığı yardımlar havacılık alanında duraksamaya yol açsa da çıkarılan Türk Sivil Havacılık Kanunu ile havacılıktaki aksaklıklar giderilmeye çalışılmıştır (Dalmış, 2014).

Havacılık açısından dünyada alınan bazı kararlar dönüm noktası olmuştur. Bunlardan en önemlisi olan serbestleşme (deregulation), daha çok ulusal bağlamda havayolu pazarındaki ekonomik düzenlemelerle ilişkilendirilmektedir. Kısıtlayıcı faktörlerin azaltılması bazen de tamamen ortadan kaldırılmasını sağlar. İlk olarak 1978'de ABD'de çıkarılan Havayolu Serbestleşme Yasası (Airline Deregulation Act) ile başlayan süreç özel havayolu işletmelerinin sektöre girişini kolaylaştırmış, havacılık için gerekli rekabet ortamına katkı sağlamıştır. Türkiye'de ise 1983'te çıkarılan 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu ile yürürlüğe girmiştir. Bu kanunların çıkışının en önemli nedeni, havayolu işletmelerinin pazara erişim, giriş, kapasite ve fiyat vb. konularda daha özgür kararlar almalarını sağlamak ve bunun için liberal bir pazar oluşturma gereği olmuştur. Tüm bu girişimler, kamu harcamalarının daha verimli hale gelmesi, işletmelerin daha verimli yönetim

anlayışına kavuşması ve mülkiyet yapısında değişiklik sağlanabilmesi amacıyla özelleştirmeleri ortaya çıkarmıştır. Özelleşmenin etkisini havalimanlarının yenilenmesi veya inşa edilmesinde görmek mümkündür (Gerede, 2015).

Sivil havacılık endüstrisi; global çerçevede ileri teknoloji kullanılan ve uluslararası rekabeti artıran bir yapı iken, ulusal ölçekte ekonomik açıdan önemli karakteristik bir yapıya sahiptir. Alternatif ulaşım modlarına göre tek seferde daha az yük ve yolcu taşınması havayolu ulaşımının zayıf yanlarından. Ancak; doğal afet vb. durumlarda en hızlı şekilde ihtiyaç duyulan bölgeye yardım edilmesini sağlar, tam zamanında üretim için işletmelere malzeme desteği sağlar.

Havayolu ulaşımında hizmet sağlayıcılar olan havayolu işletmeleri, farklı yapılarla varlığını sürdürmektedirler. Bu yapılardan havayolu işletmelerine yaptığı operasyona göre sınıflandıran ve havayolu iş modelleri olarak bilinen sınıflama ile havayolu işletmeleri geleneksel havayolları, düşük maliyetli ve charter (tarifesiz) sefer yapan havayolları olarak üçe ayrılmaktadır (Güngör, 2018). Geleneksel havayollarının yaptığı havayolu iş birlikleri hem işletmeler hem de yolcular için fayda sağlamaktadır. Böylece farklı taleplere göre hizmet sınıflarına geliştirilmiş ve havayolu işletmeleri bu sınıflardan birinde uzmanlaşmış veya birkaçında karma hizmet vererek pazar payını artırma yoluna gitmiştir.

Pek çok yönüyle incelenebilecek havayolu ulaşımı, devletlerin ekonomik ve siyasi üstünlüklerini, statülerini belirlemektedir. Yapılan literatür incelemelerinde Türk sivil havacılığının durumunun güncel verilerle yeterli düzeyde ele alınmadığı saptanmıştır. Bu ihtiyaç çalışmanın çıkış noktasını oluşturmuştur. Türk sivil havacılığının eksik yanlarını araştırarak gelişimine katkıda bulunmak çalışmanın yapılaş amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamdan hareketle bu çalışmada Türk sivil havacılığı, çeşitli yönleriyle SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats) olarak kısaltılan ve Güçlü Yönler-Zayıf Yönler-Fırsatlar-Tehditler anlamına gelen stratejik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen verilerle Türk sivil havacılığının güçlü ve zayıf yanları saptanmış, fırsatlar ve tehditler ortaya konulmuştur. Ortaya konulan bulgulardan hareketle, Türk sivil

havacılığının geliştirilmesi adına nasıl bir yol izlenmesi gerektiği konusunda fikir beyan edilmiştir.

1.1. Stratejik yönetim ve stratejik planlama

Strateji, kelime olarak dilimizde tam karşılık bulamayan bir kavram olsa da “sevk etme, yöneltme” gibi anlamlara gelmektedir. Terim olarak uzun yıllar askeri amaçlı kullanılmıştır. Eski Yunan generali Strategos adına atfen ve onun savaşta bilgisi ifade etmek için kullanıldığı bazı kaynaklarda belirtilmektedir (Kanbur, 2017). Mevcut kullanımda ise strateji; devletlerin veya kurumların izlemek istediği yola uygun, önceden belirlediği hedeflere ulaşmak amacıyla her türlü aracı kullanarak aldığı önlemler olarak açıklanabilmektedir (Güçlü, 2003). Böylece bir örgüt için stratejisinin belirlenmesi ve tanımlanması, yönetimi açısından önemli bir adım olsa da tek başına yeterli olan bir fonksiyon olmamaktadır. Bu nedenle stratejik yönetimi oluşturan diğer öğeleri tanımlamak gerekmektedir. Kurumların gelecek hedeflerinin belirlenmesinde kullanılan bir yönetim metodu olan stratejik yönetim, işletmelere ait vizyon, misyon, strateji ve taktik olarak ifade edilebilecek unsurların tanımlandığı bir süreçtir (Bosemann ve Phatak, 1989; Leskinen vd., 2006; Demirtaş, 2013). Burada vizyon, işletmelerin geleceğe yönelik rasyonel hedeflerini ifade ederken misyon ise bu hedefleri gerçekleştirmek üzere alınan kararlar ve bu kararların uygulanması adına atanan görevlerdir. Strateji yukarıda tanımlandığı üzere, bu hedeflere hangi yollarla ulaşılabileceğinin planlanması iken taktik belirlenen bu stratejiler için izlenmesi gereken yollar olarak tanımlanabilmektedir (Hitt vd., 1995; Demirtaş, 2013).

Stratejik yönetimin doğal bir sonucu ve bir aşaması olan stratejik planlama, işletmenin geleceğinin tahmini yapılarak içinde bulunduğu dış çevrenin analiz edilmesi ve işletmenin üstün ve zayıf yönlerini dikkate alarak en uygun stratejilerin seçilme çalışmalarının sistematik hale getirilmesi olarak ifade edilebilmektedir (Wilson, 1994; Dinçer, 2003; Demirtaş, 2013). Stratejik analiz sonucunda işletmeler, geleceğe dönük sürdürülebilirlikleri adına verilere sahip olabileceklerdir. Böylece büyüme ya da mevcut durumunu koruma kararı alabilecekler ve bu kararları uygulayabileceklerdir.

İşletmelerin mevcut durumunu özetleyen ve stratejik analiz yöntemlerinden biri olan SWOT analizi, araştırma yöntemi olarak belirlenmiştir. Böylece Türk sivil havacılığının içinde bulunduğu çevredeki etkinliği, çeşitli yönleriyle ele alınmaya çalışılmıştır.

2. Literatür taraması

Sivil havacılık sektörü dinamik bir küresel pazar olarak artan rekabet koşulları ve talebin esnekliği ile dikkat çekmektedir. Sadece ulaşım sektörü değil daha birçok sektöre de yeni iş imkanları sunarak ekonomiye katkı sağlamaktadır. Başta turizm olmak üzere sanayi, sağlık, eğitim vb. ekonomi bileşenlerini yakından ilgilendirmektedir. Bu durum havacılığı gerek sahada verdiği hizmetle gerekse akademik çalışmalarda öncü alan konumunda tutmaktadır.

Akademik alanda, havayolu ulaşımı hakkında çok farklı konularda araştırmalar yapılmıştır. Bir sektörün içinde bulunduğu çevrenin değerlendirilmesinde kullanılan SWOT analizi, havayolu ulaşımı adına önem arz etmektedir. Bu nedenle gerek yerli gerekse yabancı literatürde çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Tablo 1’de SWOT analizini konu alan bazı çalışmalar gösterilmektedir.

Havayolu endüstrisindeki ikincil vaka çalışmalarının toplam kalite yönetimi açısından inceleyen bir çalışma Ahmed ve diğerleri (2006), tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada Air China havayolu işletmesinin hem yerel hem de küresel havayolu işletmeleri arasındaki durumu SWOT analizi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Air China, rekabet gücünü müşteri gereksinimlerine uyum olarak oluşturmuş ve stratejik kararlarını bu yönde almıştır (Ahmed vd., 2006). Demirtaş (2013) ise Kayseri’de uçak bakım ve imalat faaliyetleri yapan, kuruluşu 1926 yılına dayanan köklü bir firmanın SWOT analizini yaparak literatüre katkı sağlamıştır. SWOT matrisi, 80 kişi ile gerçekleştirilen mülakatlardan elde edilen verilerle oluşturulmuş ve analiz bu veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Demirtaş, 2013). SWOT analizinin havacılıkta kullanıldığı bir diğer çalışmada Yalçın (2014); Birinci Dünya Savaşı Çanakkale Cephesi’nde gerçekleşen hava muharebesini, İttifak ve İtilaf devletleri açısından ele almıştır (Yalçın, 2014). Gökırmak (2014) yaptığı çalışma ile Türkiye’nin bayrak taşıyıcı havayolu olan Türk Hava Yolları (THY)’nin serbestleşme

sürecinden nasıl etkilendiğini incelemiş ve SWOT analizinden faydalanarak durum değerlendirmesi yapmıştır (Gökırmak, 2014). Septiani ve Cahyono (2019) tarafından yapılan çalışmada Palembang Havacılık Eğitim Merkezinin öğretim uygulama stratejisi SWOT analizi ile oluşturulmuş ve geliştirilmeye

çalışılmıştır (Septiani ve Cahyono, 2019). Küresel krizlere karşı hassasiyeti yüksek olan havacılık endüstrisinin Covid-19 karşısındaki durumunu inceleyen bir çalışma Karakavuz (2020) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışma Türkiye ölçeğinde olup havayolu işletmelerini kapsamaktadır (Karakavuz, 2020).

Tablo 1. SWOT analizi ile ilgili ulusal ve uluslararası havacılık çalışmaları

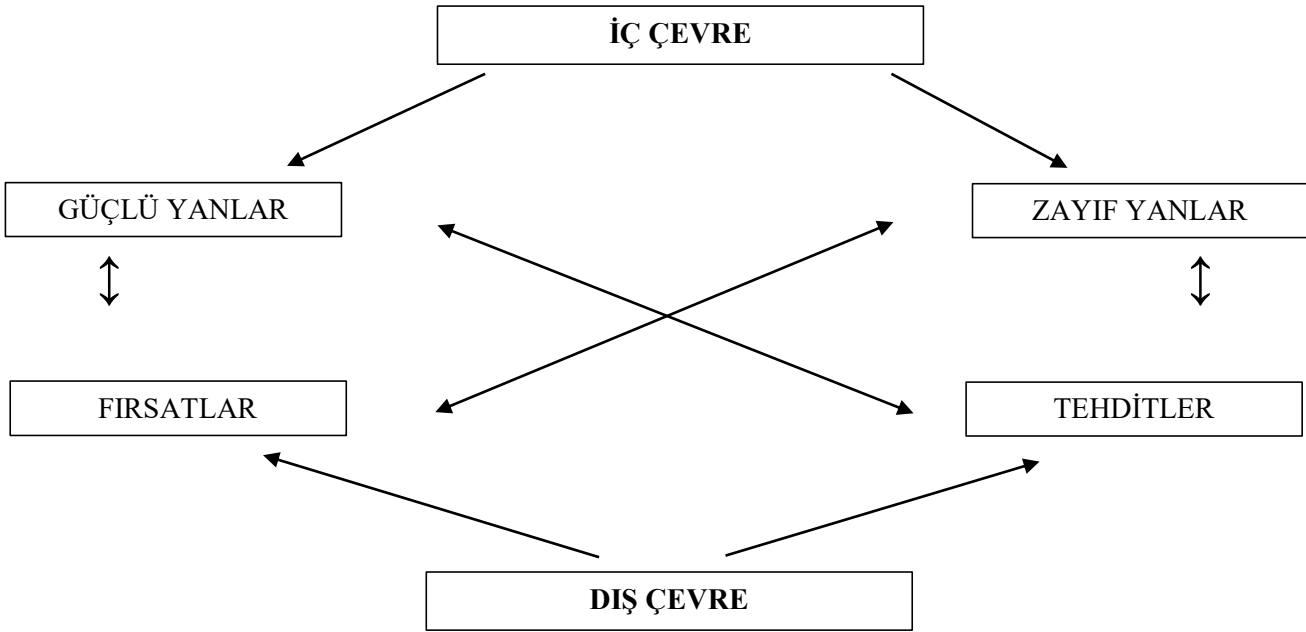
Yazar	Bölge/Ülke	Çalışma Konusu
Ahmed vd. (2006)	Çin	Air China Havayolu
Sevklı vd. (2012)	Türkiye	THY
Demirtaş vd. (2013)	Kayseri	İmalat ve uçak bakım kurumu
Gökırmak (2014)	Türkiye	THY
Yalçın (2014)	Çanakkale	Çanakkale Cephesi hava muharebeleri
Kanbur ve Karakavuz (2017)	Evrensel	Küresel havayolu işbirlikleri
Bakır vd. (2017)	Türkiye	Türk sivil havacılık sektörü
Aysal (2019)	Evrensel	Star Alliance küresel havayolu işbirliği
Septiani ve Cahyono (2019)	Endonezya	Palembang Havacılık Eğitim Merkezi
Yılmaz (2020)	Türkiye	Türk sivil havacılık sektörü
Karakavuz (2020)	Türkiye	Covid-19

3. Yöntem

SWOT analizini literatüre katan isim Prof. Heinz Weirich, San Francisco Üniversitesi akademisyenlerindedir. SWOT analizi kavramı kendisini oluşturan 4 harfin İngilizce karşılığını kapsamakta olup açılımı; Strengths (Güçlü Yanlar), Weaknesses (Zayıf Yanlar), Opportunities (Fırsatlar) ve Threats (Tehditler) şeklindedir (Güngör, 2018). Şirketin uzun ömürlü olması, bulunduğu konumu koruması ve daima zirveye tırmanması en sarsılmaz hedefidir. Bu nedenledir ki şirket, rekabet göstereceği çevreyi en iyi şekilde tanımak durumundadır. Çünkü kendi finansal kaynaklarını, işgücünü, teknolojik varlıklarını optimum yarar elde etmek için kullanmalıdır.

Şirketin kendi varlıklarının dışında kalan, kontrol etmesi güç olan, kural koyucu yerli ve yabancı otoritelerden, rakip firmalardan, teknolojik ve kültürel değişimleri kapsayan dış çevreyi tanımlamak için fırsat ve tehditlerden yararlanır. Elindeki tüm varlığını değerlendirmek, strateji oluşturmak için ise iç çevre elemanı olan güçlü yanlar ve zayıf yanları kullanır. Şirket geçmişteki verileri, bilgi birikimi, deneyimi amaçlara erişmeyi daha da kolaylaştıracaktır. Bu sebepler göz önüne alındığında, şirketler ve sektörler açısından SWOT analizi önem arz etmektedir.

Şekil 1 SWOT analizinin yapısını göstermektedir.



Şekil 1. SWOT analizi gösterimi (Demirtaş, 2013)

Şekil 1’de SWOT analizi kapsamında işletme açısından yapılacak değerlendirmeler ifade edilmiştir. Buna göre havayolu ulaşımı kapsamında;

Güçlü Yanlar: Havayolu ulaşımını diğer ulaşım modları arasında öne çıkaran, pozitif çekim gücünü oluşturan yönleri, özellikleridir. Söz gelimi havayolu ulaşımının sektörel ölçekte; AR-GE’ye verdiği önem, teknolojik yeniliklerde öncü konumda olması, işgücünün verimliliği, yolcuların memnuniyetini artıran zaman tasarrufu gibi avantajları ile diğer ulaşım sistemlerinden daha etkin olması rekabet gücünü artırıcı özelliklerindedir.

Zayıf Yanlar: Havayolu ulaşımını sekteye uğratabilecek arzu edilmeyen durumlardır. Üretici kuruluşlardan havayolu hizmetini alan yolcuya kadar geniş yelpazede tüm havayolu

ulaşımı sistem elemanlarının eksik veya yanlış yanlarını ifade etmektedir.

Fırsatlar: Karmaşık ve dinamik dış çevre şartlarında havayolu ulaşımının tercih edilebilmesi için öngörülü olmak gerekmektedir. Tüketicinin ihtiyaçlarını doğru algılayıp ona göre mal üretmek, hizmet sunmak havacılık kurumlarının kontrol edemediği dış çevrede avantajlı hale getirecektir.

Tehditler: Havayolu ulaşımında etkin bileşenlerin müdahale etmekte zorlandığı dışsal çevre elemanıdır. Küresel dalgalanmalara aşırı hassas olan havacılık kuruluşlarının son derece dikkatli davranmaları gereken bir noktadır. Var olan tehditler zamanında önlenmezse hem havacılık kuruluşları itibar kaybeder hem de ciddi mali engellerle karşılaşılabilir.

Bu araştırmanın amacı, Türk sivil havacılığının stratejik önemini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda stratejik konumun belirlenmesi ve sektörel bir değerlendirme yapılması gibi konularda sıklıkla kullanılan SWOT analizi, araştırmanın yöntemini oluşturmaktadır. Araştırma, sadece Türkiye kapsamında sınırlandırılmış olup, havacılığın sektörel anlamda genel bir analizi yapılmaya çalışılmıştır.

4. Uygulama

Türk sivil havacılığının SWOT analizi bu bölümde ele alınacaktır. Türk sivil havacılığının bulunduğu çevrenin analizi yapılarak elde edilen veriler ışığında SWOT analizinin içsel faktör bileşenleri olan güçlü ve zayıf yanları ile dışsal faktör bileşenlerini oluşturan fırsatlar ve tehditler Tablo 2’de gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

Tablo 2. Türk sivil havacılığının SWOT analizi

İÇSEL FAKTÖRLER	
GÜÇLÜ YANLAR	ZAYIF YANLAR
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Türk Sivil Havacılığının Ekonomiye Katkısı ▪ Diğer Ulaşım Türlerine Göre Avantajlı Olması ▪ İşgücü ve Nüfus Yapısı ▪ Coğrafi Konumun Etkisi ▪ Devlet Teşvikleri ve Yasal Düzenlemeler ▪ Uçak Bakım Faaliyetleri ▪ Büyüyen İç Pazar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ekonominin İstikrarsız Olması ▪ Maliyetlerin Yüksek Olması ▪ Havacılık Sektöründeki Master Plan Eksiklikleri ▪ Sektör Paydaşları Arasındaki Koordinasyon Eksikliği ▪ Mevzuat Eksikliği ▪ Havacılık Sanayisinin Uluslararası Rekabet Gücü Olmaması ▪ İşgücünün Niteliksiz Olması
DIŞSAL FAKTÖRLER	
FIRSATLAR	TEHDİTLER
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Türkiye'nin Turizm Avantajı ▪ Türkiye'ye Yapılan Yabancı Yatırımlar ▪ Teknolojik Gelişmelerin Maliyetleri Düşürmesi ▪ Ulaşım Türleri Arasındaki Senkronizasyon ▪ Ar-Ge Çalışmaları ile Havacılık Sanayisinin Geliştirilebilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terör Unsurlarının Güvensizlik Oluşturması ▪ Türkiye'deki Politik Gelişmeler ▪ Yakın Çevre ile Rekabetin Artması ▪ Petrol Fiyatlarının Esnekliği ▪ Alternatif Ulaşım Türlerinde Görülen İlerlemeler

4.1. İçsel faktörler

İçsel faktörler; havayolu işletmeleri, havalimanları, hava aracı bakım/onarım/revizyon firmaları, yer hizmeti işletmeleri, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları, yakıt tedarikçileri, eğitim kurumları ve üreticiler gibi havacılığın alt bileşenlerini oluşturan elemanlarının alternatif ulaşım sistemlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları olarak ifade edilebilmektedir. İç çevre analizi yapılan havacılık, mevcut durumu daha gerçekçi biçimde saptayarak stratejik analiz üretebilmekte, bunun sonucu olarak bölgede daha etkin hale gelebilmektedir.

4.1.1. Güçlü yanlar

Türk Sivil Havacılığının ekonomiye katkısı: Ekonomi ve havacılık arasında doğru orantılı bir bağ söz konusudur. Gelişmiş ülkelerin ekonomik düzeyleri genellikle sabit bir doğru çizer bu da yoğun risk içeren sivil havacılık sektörü için kaçırılmayacak fırsatlar doğurur. Sivil havacılık sektörü, bünyesindeki kamu kuruluşları ve özel kuruluşlarla istihdama katkıda bulunur. Bu sayede ülkedeki işsizlik

oranı azalır, ekonomi büyür. Ayrıca turizm sektörü için besleyici nitelikte olan sivil havacılık sektörü ülkeye döviz girişi sağlamaktadır. Havayolu ulaşımını yaygınlaştırmak için dünya genelinde yapılan liberalleşme çalışmaları neticesinde toplumun her kesiminden yolcular daha ucuz bilet alabilme şansını yakalamış ve seyahatlerini artırmıştır.

Diğer ulaşım türlerine göre avantajlı olması: Havayolu ulaşımı yük ve yolcu taşımacılığında özellikle kıtalararası ulaşımında en hızlı ulaştırma biçimi olma özelliğini korumaktadır. İş adamlarının, siyasi liderlerin hızlı ve güvenli taşınmasının yanı sıra; deprem, sel, yangın gibi acil durumlarda gerekli personelin olay yerine götürülmesini, kazazedelerin güvenli alanlara hızlı bir biçimde tahliye edilmesini sağlamaktadır.

Ayrıca havayolu ile ulaşım en güvenilir ulaşım türüdür. Söz gelimi Türkiye'de ve dünyada 1 yılda meydana gelen kaza olayları dikkatle incelenirse; 2019 yılında Türkiye'de 1.168.144 trafik kazası olmuş ve 5.473 kişi hayatını kaybetmiştir, 2019 yılında Türkiye'de 485

deniz kazası veya olayı meydana gelmiş ve 85 kişi hayatını kaybetmiştir, 2019 yılında Türkiye’de demiryollarında meydana gelen toplam kaza sayısı 83’tür ve bu kazalar sonucu toplam ölü sayısı 54 olmuştur, 2019 yılında Türkiye’de kazaya karışan uçak sayısı 10 olup bu kazalar sonucu toplam ölü sayısı 2’dir [Url-1].

Bir diğer önemli husus ise havayolu ile seyahatin en konforlu ulaşım modu olmasıdır ki bu kriter yolcular açısından tercih sebebi olmaktadır. Karayolu ve demiryolunda hem ulaşım süresi hem de yol yapım maliyetleri fazladır. Denizyolu ulaşımı ise Türkiye’de sadece kıyı kesimlerinde yük ve yolcu taşımacılığı sağlamaktadır.

İşgücü ve nüfus yapısı: Türkiye’de genç nüfus oranı fazladır. Sadece havacılık sektörü değil diğer pek çok sektöre ihtiyaç duyulan personel yurt içinden kolaylıkla sağlanabilmektedir. Devlet ve özel sektör kurumları ihtiyaç duydukları personeli üniversiteler aracılığıyla elde edebilmektedirler. Havacılık alanında eğitim veren kurumlar staj gibi programlarla öğrencilerin sahada işi tecrübe etmelerine fırsat tanımaktadır. Yine Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından terminal işletmeciliği kuruluşları, havaalanı ve heliportlar kapsamındaki kuruluşlar, uçuş izinleri kuruluşları, havacılık tıbbi eğitim ve bakım teknisyeni eğitim kuruluşları vb. kurumlar yetkilendirilerek hizmet vermektelerdir [Url-2].

Coğrafi konumun etkisi: Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarının kesişiminde kalan Türkiye, geniş bir aktarma ve transit uçuş ağına sahiptir. Bağlanabilirliği artan havalimanları ve havayolu işletmeleri ile Türkiye, hem yerli hem yabancı yolcular tarafından gözde bir destinasyon konumundadır. Havacılığın gelişmekte olduğu Doğu ülkelerine yakın olması sosyo-ekonomik açıdan havacılığın gelişmesine katkıda bulunacaktır. Komşu olduğu ülkelerin havacılık bilgi birimi ve donanımı da hesaba katılırsa Türk sivil havacılığı, yeterli destek verilmesi durumunda dünyada havacılık sektöründe söz sahibi konumda olabilecektir. Trafik akışının yoğun olduğu bir bölgede yer alan Türk havayolu taşıyıcıları yapmış oldukları işbirlikleri ile uçuş ağlarını genişletmeye çalışmaktadırlar.

Devlet teşvikleri ve yasal düzenlemeler: Havacılık sektörü kırılğan bir yapıya sahiptir; ekonomik dalgalanmalar, uluslararası kısıtlamalar, pazara girişin getirdiği riskler dikkate alındığında havacılığın daha da hassas bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. THY, kurulduğu günden bu yana Türkiye’nin bayrak taşıyıcı havayolu işletmesi olarak devlet tarafından zaman zaman desteklenmiştir. Ağır vergilerde olağanüstü hallerde indirimle gidilmiş (COVID-19 dönemi vb.), küresel havayolu işbirliği gruplarından biri olan Star Alliance’a üyelik sürecinde gerekli kriterleri sağlanması hususunda desteklenmiş, sadece bir havayolu işletmesi olarak değil aynı zamanda yer hizmeti, akaryakıt ve ikram hizmeti de sağlama avantajı yakalamıştır (Gökırmak, 2014). 1983’te çıkarılan Türk Sivil Havacılık Kanunu ile Havacılıkta Serbestleşme Projesi de ulusal havacılığın geliştirilmesi yönünde atılan adımlardandır.

Uçak bakım faaliyetleri: Türkiye’de SHGM bünyesinde SHY-145 Onaylı Bakım Kuruluşları ve F Bakım Kuruluşları hava araçlarının bakım, onarım, tadilat, servis ve revizyon faaliyetlerini gerçekleştirmektedir [Url-3]. Bu hizmetin yurt içinden sağlanmasıyla ekonominin dışa bağımlılığı azalmıştır. İstihdama katkı sağlanmıştır. Türk sivil havacılığının sürekli gelişimine katkıda bulunulmuştur.

Büyüyen iç pazar: Serbestleşme sonrası özel havayolu işletmeleri iç pazarda yerini almıştır. Rekabetin artmasıyla birlikte başta THY olmak üzere diğer havayolu işletmeleri müşteri memnuniyetini sağlamak için çeşitli yenilikler yapmış bunun neticesinde hizmet kalitesi artmıştır. İnsanların yaşam standardının yükselmesi, ucuz bilet politikaları, alternatif havayolu işletmelerinin artması Türkiye iç pazarını daha heterojen bir yapıya bürümüştür.

4.1.2. Zayıf yanlar

Ekonominin istikrarsız olması: Havacılık endüstrisi ekonomik dalgalanmalara karşı son derece duyarlıdır. Özellikle yakıt, yedek parça, kira vb. gider kalemlerinde dışa bağımlı olan Türkiye’de yaşanılacak ekonomik krizlerde, en başta havacılık sektörü sektöre uğrayacaktır. Türkiye’nin terörle mücadele vermesi, yabancı ülkelerin çoğu zaman vatandaşlarına Türkiye’ye seyahat etmemeleri hususunda uyarılar yapmasına sebep olmaktadır.

Dünya genelinde yaşanan ve dünyayı etkisi altına alan pek çok olay ile ekonomik problemler yaşanmış ve havacılık bu durumdan yine en çok etkilenen sektörlerden olmuştur. Pandemi olarak kabul edilen salgın hastalıklar yurt dışı uçuşlarının iptal edilmesine neden olarak birçok havacılık kuruluşunu iflasın eşiğine getirmiştir. Dünya; 2003 yılında SARS, ilk olarak 2005'te görülüp 2013'te tekrar eden Kuş Gribi ve 2015'te MERS gibi salgınlardan sonra 2019'un aralık ayında Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan Covid-19 hastalığı ile karşı karşıya kalmıştır. Kısa sürede dünyaya yayılan hastalık, Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak açıklanmıştır. Bu salgın, içinde bulunduğumuz yüzyılın ilk çeyreğinde yaşanan diğer salgınlara kıyasla, dünya ekonomisine ciddi anlamda zarar vermiştir. Söz konusu zararın en büyük etkisi ise havacılık sektöründe görülmüştür. Çünkü hastalığın bulaştığı çoğu ülkenin yayılımı azaltma adına aldığı ilk tepki, başta Çin ile daha sonra diğer ülkeler ile seyahat yasağı uygulamak olmuştur. Hala etkisi devam eden ve süreci hakkında kesin bir bilgi verilemeyen salgın döneminde, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organisation/ICAO) ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association/IATA) gibi uluslararası havacılık otoriteleri koordineli bir şekilde dönemi takip etmişlerdir. Havacılık paydaşlarının çoğunun ciddi ekonomik kayıplar verdiği dönemde, ICAO tarafından 27 Nisan 2021'de yayınlanan rapora göre; 2019 yılına göre 2020'de dünya genelinde taşınan yolcu sayısında %60 azalma olmuş ve 2.699 milyon yolcu kaybı yaşandığı belirtilmiştir. Bu kaybın ekonomik çıktısı ise 371 milyar Amerikan doları olmuştur. Yine 2019 yılına kıyasla 2021 yılı için yapılan tahmine göre; taşınan yolcu sayısında %44 ila %51 arasında azalma olacağı ve 1.950 ila 2.308 milyon arasında havayolu yolcusunun kaybedileceği öngörülmektedir. Bu durumun dünya havacılığına, 290 ila 339 milyar Amerikan doları arası ekonomik kayıp olarak döneceği tahmin edilmektedir (ICAO, 2021).

Maliyetlerin yüksek olması: Havacılık endüstrisinde işletme maliyetleri çoğu sektörde olduğu gibi büyük önem arz etmektedir. Özellikle havayolu işletmeleri açısından personel maaşları, sigorta/vergi, kira/amortisman, yer/yolcu hizmetleri, rezervasyon/satış gibi gider kalemleri havacılığı

oluşturan diğer çoğu bileşen açısından da önem arz etmektedir. (ICAO, 2017). Türkiye'de çoğu işletme bu maliyetlerin bir kısmını yolcu biletlerinden karşılarsa da çoğu durumunda bu işletme maliyetlerini kuracağı ortaklıklarla azaltmaya çalışmaktadır. Yine sektöre giriş ve bu maliyetlerin kabulünden doğan riskin varlığı, havacılık girişimlerini de etkilemektedir.

Havacılık sektöründeki master plan eksiklikleri: Hava ulaştırma sektörünün barındırdığı yüksek risk ile beraber yurt içinde ve yurt dışındaki sert rekabet koşulları göz önüne alınırsa, atılacak her adımın multidisiplinli şekilde kararlaştırılması gerekmektedir. Sektörün yönetici kurumları (kamu veya özel) arasında şeffaf bilgi paylaşımı olmalı, havacılık sektörü ile yakından ilişkili ekonomik dalların (turizm, ticaret, savunma) vizyonları doğrultusunda stratejik kararlar alınmalı ve en önemlisi dünya havacılık sektörünün getirdiği yenilikler yakından takip edilmelidir. Türkiye'de kapsamlı bir ulusal havacılık politikası olmadığı için yapılan yatırımlar kaynak israfı yaratmakla beraber karşılaşılan sorunlara ancak geçici çözümler üretilmektedir.

Sektör paydaşları arasındaki koordinasyon eksikliği: Master plan oluşturulduktan sonra havacılık kurum ve kuruluşları arasında periyodik aralıklarla görüşmeler sağlanmalı, plana sadık kalınıp kalınmadığı kontrol edilmeli ve öngörülemeyen aksaklıklar düzeltilmeye çalışılmalıdır. Türkiye'de serbestleşme ve özelleşme adımları sonrası sektör genelinde devlet otoritesi azalmıştır. Türkiye'de Turgut Özal hükümeti ile birlikte 1980'ler dönemi, birçok sektörde devlet rolünün azaltılması yönünde politikaların izlendiği bir dönem olmuştur. Kâr amacı güden çoğu havayolu işletmesi veya havalimanı işletmesi veri raporlama konusunda yanlış bilgilendirme yaparak sistemi yetersiz hale getirmektedir. (Gerede, 2015).

Mevzuat eksikliği: Milli mevzuatlar ile uluslararası mevzuatlar arasındaki kopukluklar Türkiye'de sivil hava taşımacılığını dünyanın gerisinde bırakmakla beraber havacılık hukukundaki kanunlarda boşluk bırakarak çok sesliliğe neden olacaktır. Havacılık ile ilgili kurum ve müdürlüklerin yetki alanı ve sorumlulukları net bir şekilde belirlenmelidir. Çakışan mevzuatlar zaman kaybı yaratmaktadır (Dalmış, 2014). Yine mevzuattaki

eksikliklerden kaynaklı sorunlar sonucunda diğer ulaşım sistemlerine entegre edilmeyen havalimanları müşterinin kaybedilmesine yol açmakta, çevre dostu olmayan hava araçlarının gelişigüzel kullanımı çevre kirliliği yaratmakta ve bu durumlar havayolu ulaşımına olan talebi olumsuz etkilemektedir.

Havacılık sanayisinin uluslararası rekabet gücü olmaması: Türkiye, hava araçlarının ve yedek parçalarının üretimini, bakım, onarım ve modernizasyonunu %100 yerli kaynaklarla gerçekleştirememektedir. İthal edilen bu ürünler ülke ekonomisine zarar vermektedir. Havaalanlarının teknolojiye entegre edilmesi için yürütülen çalışmalarda dış alımla gerçekleştirilen mal ve hizmetler yabancı ülkelere borçlanmaya neden olmaktadır. Türk havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. (TUSAŞ) dışında Türk havacılık sanayisinin sürdürülebilir kalkınmasını sağlayacak kuruluş nitelik bakımından yetersizdir. TEI, Aselsan, Alp, Baykar, Kale gibi önde gelen havacılık işletmeleri ise yeteri kadar desteklenmemektedir.

İşgücünün niteliksiz olması: Türkiye’de mevzuatlarda yer almayan durumlarda çeşitli havacılık kuruluşları işe alım yaparken kendi kriterlerini kendileri belirlemektedirler. Bu durum liyakatsiz personellerden oluşan, kökü sağlam olmayan bir hava ulaşım alt yapısı meydana getirmektedir. Bazı hallerde işgücü eksikliği yabancı ülkelere sağlanmakta yine bu da Türkiye’yi dışa bağımlı hale getirmektedir. Tüm bunlara devlet hava kurumlarında çalıştırılan ücretli personeller de eklenince işin içinden çıkmak daha imkânsız hale gelmektedir.

4.2. Dışsal faktörler

Dışsal faktörler sivil hava ulaşım sektörünün kâr elde etmek veya varlıklarını sürdürmek için takip ettiği fırsatlar ve sektör üyelerinin varlıklarını zarardan korumak için bertaraf etmekle yükümlü oldukları tehditlerden oluşmaktadır. Teknolojik yenilikler, ulusal veya uluslararası mevzuattaki değişiklikler, sosyal-ekonomik-siyasi hayattaki dalgalanmalar ve rekabetin her alanda genişlemesi havacılık kurumları için belirsizlik yaratmaktadır. Yaşanan değişimleri anında fark edip fırsata dönüştürecek altyapıdan yoksun işletmeler için söz gelimi teknolojik hamleler geç

uygulanmaya konulması iflasla aynı anlama gelebilmektedir.

4.2.1. Fırsatlar

Türkiye’nin turizm avantajı: Sivil havacılık sektörünün Türkiye’de hızlı gelişim gösterme sebeplerinden biri hiç kuşkusuz tarihi, turistik ve doğal güzelliklerle dolu Türkiye’ye her yıl yerli ve yabancı turistlerin yaptığı ziyaretler olmaktadır. Türkiye’ye gelen yabancı turistler genellikle havayolu ulaşımını tercih etmektedirler. Türkiye her geçen yıl daha fazla ülkeyle hava ulaştırma anlaşması yaparak turizm potansiyelini arttırmaktadır.

Türkiye’ye yapılan yabancı yatırımlar: Dünyada havacılığın Doğu ülkeleri (Çin, Hindistan, Endonezya, Türkiye) lehine yükseliş kazanması, havacılıkta yeterli olgunluğa ulaşmış Batılı ülkeler tarafından bilinen bir gerçektir (Yazıcı, 2018). Bazı ülkeler Türkiye’nin jeolojik konumu da göze alarak havacılık yatırımları yapmaktadır. Uluslararası üne kavuşmuş birçok firma Türkiye’de havacılık ortaklıkları yapmıştır.

Teknolojik gelişmelerin maliyetleri düşürmesi: Hava ulaştırma sektörü uçuş emniyetini ve yolcu güvenliğini sağlamak amacıyla anlık veri işleyen çeşitli birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler arasında veri paylaşımının eksiksiz olması için en yeni teknolojilerle desteklenmesi şarttır. Hava trafiğinin yönetilmesinden anlık meteorolojik hadiselerin takibine, yolcu kabul işlemleri, online bilet işlemleri vb. daha birçok alanda teknolojiye faydalanılarak Türkiye’de işletme maliyetleri azaltılmak istenmektedir. Yine havalimanlarında kullanılan yüz tanıma sistemleri personel ihtiyacını azaltarak havalimanı bütçesine katkı sağlamaktadır.

Ulaşım türleri arasındaki senkronizasyon: Havalimanlarının şehir içi ulaşımına entegre edilmesi yolcular ve hava limanı çalışanları için kolaylık sağlayacaktır. Bir havalimanına erişim ne kadar çeşitli olursa havayoluna olan talep o ölçüde artacaktır. Özellikle yeni yapılan havalimanlarında bu hususlara özen gösterilmektedir.

Ar-ge çalışmaları ile havacılık sanayisinin geliştirilebilmesi: Türkiye’de devlet ve özel sektör kuruluşları Türk havacılık sanayisinin uluslararası rekabet gücüne erişmesi amacıyla pek çok proje gerçekleştirmektedir. DHMİ tarafından gerçekleştirilen hava aracı takip

sistemi, uzaktan eğitim ve bilgi paylaşım portalı ve hava trafik kontrolörü seçme yazılımı bu projelerden bazılarıdır. Bu projelerle dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir (DHMI, 2018).

4.2.2. Tehditler

Terör unsurlarının güvensizlik oluşturması: Türkiye'nin sınır komşuları veya Orta Doğu coğrafyasında devam eden savaş ortamı hiç şüphesiz havayolu taşımacılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye'de yaşanan iç terör olayları, güvenlik faktörünü düşürerek birçok ülkenin uçuş izni vermemesine neden olmaktadır.

Türkiye'deki politik gelişmeler: Politik istikrarsızlıklar ülke içinde ekonomik kalkınmayı yavaşlatabilmektedir. Yolcular ekonomik dalgalanmalarda bilet fiyatları daha makul olan alternatif ulaştırma biçimlerine yönelmektedirler. Geçmişte olduğu gibi yönetimi devralan her hükümet kendi politikası doğrultusunda kararlar almaktadır. Havacılık sektörü kırılğan bir yapıya sahip olduğundan getireceği riskleri öngörmeden alınacak kararlar hüsrarla sonuçlanacaktır.

Yakın çevre ile rekabetin artması: Hava ulaşım pazarında yakın coğrafyamız olan Orta Doğu ve Körfez taşıyıcıları Türkiye'nin pazardaki payını azaltmaktadır (Bakır vd., 2017). Rekabet gücümüzü zorlayan bu merkezlerle ikili anlaşmalar yapılarak daha adil bir paylaşım için adım atılmıştır.

Petrol fiyatlarının esnekliği: Petrol fiyatları havayolu işletmeleri için en büyük maliyet kalemlerinden biridir ve ülke olarak petrol tüketiminde dışa bağımlı olduğumuzdan kontrol edilememektedir. Dünya genelinde yaşanan petrol krizleri sonucunda birçok hava taşımacılığı yapan firma küçülmeye gitmiştir, diğerleri ise yakıt giderlerinin bir kısmını yolcu biletlerine yansıtmış ve bunun neticesinde uçuş sayıları azalmıştır. Hükümet tarafından verilen destekler ve geliştirilen projeler krizin etkisini kırmış olsa da tamamen ortadan kaldırmaya yetmemektedir. Uzun vadede çözüm getirebilecek alternatif yakıt sistemleri geliştirilmelidir (Güngör, 2018).

Alternatif ulaşım türlerinde görülen ilerlemeler: Son yıllarda Türkiye'de demiryollarını iyileştirme çabaları neticesinde yüksek hızlı trenler (YHT) devreye girmiştir.

Zaman açısından tasarruf sağlayan bu araçlar sahip oldukları yol güzergahı ile de havayolu ulaşımı yerine tercih edilebilmektedir. Kısa mesafede ulaşım söz konusu olduğunda ise karayolu alternatif olarak devreye girmektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinin sağladığı faydalar, çevre dostu olarak geliştirilen araçlar, hizmet kalitesinde görülen artışlar yolcuları şehirler arası taşımacılık yapan otobüs firmalarına yönlendirmektedir.

5. Sonuç

Ulaştırma sisteminin sürdürülebilir olması için belirlenen kuralların uluslararası mevzuatla çakışmayan, gereksinimleri karşılayacak düzeyde olması gerekmektedir. Havayolu, karayolu, denizyolu ve demiryolu alt sistemleri birbiri ile uyumlu olmalı, aralarındaki veri paylaşımı eksiksiz gerçekleşmelidir. Teknolojik yeniliklere uygun adımlar atılmalı ve bu adımlar çevre dostu uygulamalarla desteklenmelidir. Havayolu taşımacılığı kıtalararasında ticaretten turizme, finanstan işletmeciliğe, sağlıktan haberleşmeye kadar pek çok dalda köprü işlevi görerek yalnız yolcuların değil kültürlerin de iletilmesini sağlamaktadır.

Teknoloji ile iç içe sistemlere sahip olması, küresel rekabet çevresi, sosyo-ekonomik değişimlere karşı aşırı duyarlı yapısı ile havacılık sektöründe SWOT analizi; havacılık endüstri kuruluşları başta olmak üzere havalimanı işletmeciliği, havayolu işletmeleri ve daha pek çok alanda karşımıza çıkan bir yönetim tekniğidir. Havayolu işletmelerinde stratejik yönetimin başarı anahtarı, dönüşümün ne zaman gerekli olduğunu kestirmek ve bu süreçte yönetme iradesinin sağlam ve riski göze alabilecek yeterliliğe sahip olması gerekmektedir.

Türkiye'de sivil hava ulaştırmasının SWOT analizi yapılan bu çalışmada, Türk sivil havacılığının ekonomiye katkısı, diğer ulaşım türlerine göre avantajlı olması, işgücü ve nüfus yapısı, coğrafi konumun etkisi, devlet teşvikleri ve yasal düzenlemeler, uçak bakım faaliyetleri ve büyüyen iç pazar güçlü yanları oluşturmuş; ekonominin istikrarsız olması, maliyetlerin yüksek olması, havacılık sektöründeki master plan eksiklikleri, sektör paydaşları arasındaki koordinasyon eksikliği, mevzuat eksikliği, havacılık sanayisinin uluslararası rekabet gücü olmaması ve işgücünün niteliksiz olması zayıf yanları oluşturmuştur. Türk sivil havacılığının

geliştirilmesi yönündeki fırsatlar; Türkiye'nin turizm avantajı, Türkiye'ye yapılan yabancı yatırımlar, teknolojik gelişmelerin maliyetleri düşürmesi, ulaşım türleri arasındaki senkronizasyon ve ar-ge çalışmaları ile havacılık sanayisinin geliştirilebilmesi olarak saptanmıştır. Ulusal sivil havacılığı tehdit eden unsurlar ise; terör unsurlarının güvensizlik oluşturması, Türkiye'deki politik gelişmeler, yakın çevre ile rekabetin artması, petrol fiyatlarının esnekliği ve alternatif ulaşım türlerinde görülen ilerlemeler olarak saptanmıştır.

Türkiye'de havayolu ulaşımının sahip olduğu ve yukarıda belirtilen dezavantajları göz önüne alınarak sunulabilecek öneriler arasında ilk sıralarda mevzuat eksikliklerinin giderilmesi gelmektedir. Hava ulaşımında gelişmiş ülkelere baktığımız zaman master planın Ulusal Kalkınma Planı bileşeni olan Ulusal Taşımacılık Politikası ile yakından ilişkili Ulusal Havacılık Politikası çerçevesinde hazırlandığı görülmektedir. Türkiye'de de ulaşım hizmetlerini yürüten Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ile finans, ekonomik planlama, çevre, enerji, ticaret ve turizmden sorumlu diğer bakanlıklar arasında daha fazla işbirliği sağlanarak havayolu ulaşım stratejileri bu yönde oluşturulmalıdır. Yine Türk sivil havacılığını geriye çeken bir eksiklik olan havacılık sanayisinin uluslararası rekabet gücünün sınırlı olmasına dair çözümler son dönemlerde yapılan havacılık atılımları ile giderilmeye çalışılmaktadır. Özellikle son yıllarda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının mevzuatına eklenen Milli Teknoloji Hamlesi açılımı ile millî ve özgün ileri teknolojilerin desteklenmesi hedeflenmektedir [Url-4]. Yine havayolu ulaşımının teknoloji ile iç içe oluşturulması neticesinde havalimanlarından hava araçlarına, sistemlerden mobil uygulamalara birçok akıllı sistem zaten mevcuttur. Bu sistemlerden yararlanılması ile güvenlik sorunları ortadan kaldırılacak, maliyetler ciddi ölçüde azalacak, tüm süreçler hatasız ve hızlı biçimde tamamlanacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve teşekkür beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar çatışması beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Ahmed, A. M., Zairi, M., ve Almarri, K. S. (2006). SWOT Analysis for Air China Performance and Its Experience with Quality. *Benchmarking: An International Journal*. Vol. 13 Iss 1/2 pp. 160 - 173

Aysal, İ. (2019). İşletmeler Arası Stratejik İşbirliği ve Büyüme Havayolları İşletmeleri Analizi. *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Türkiye*.

Bakır, M., Bal, H. T., ve Akan, Ş. (2017). Türk Sivil Havacılık Sektörünün Değerlendirilmesinde Bütünleşik SWOT-AHS Yaklaşımı. *Journal Of Aviation*, 1(2), 154-169.

Bosemann, G. and Phatak, A. (1989), Strategic management: text and cases, 2nd. Edition, John Willey-Sons, New York

Dalmış, A.B. (2014). Türkiye'de Ticari Hava Taşımacılık Sektörünün Strateji Belirleme Sürecinde Swot Analizinin Rolü: Tasarım Okulu Perspektifiyle Bir İnceleme. *Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.

Demirtaş, Ö. (2013). Havacılık Endüstrisinde Stratejik Yönetim: Swot Analizi ile Durum Değerlendirmesi. *NEÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2 (207-226)*.

DHMİ, (2018). DHMİ 2018 Havayolu Sektör Raporu. Erişim Adresi: https://www.dhmi.gov.tr/Lists/HavaYoluSektorRaporlari/Attachments/12/2018_Havayolu_Sektor_Raporu.pdf

Gerede, E. (2015). Havayolu Taşımacılığı ve Ekonomik Düzenlemeler Teori ve Türkiye Uygulaması. *Art Ofset Matbaacılık, Ankara*.

Gökırmak, H. (2014). Türk Hava Yolları'nın Havacılık Sektöründeki Konumu. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, Yıl:2, Cilt:2, Sayı:4*

Güçlü, N. (2003). Stratejik yönetim. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(2)*.

Güngör, I. (2018). Türkiye'de Havayolu Taşımacılığının Gelişimi ve Ekonomi Üzerine

Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.*

Hitt, M.A., Ireland R.D. ve Hoskison, R.E (1995). Strategic Management-Competitiveness and Globalization. *West Publishing Company.*

ICAO, (2017). Airline Operating Cost and Productivity. Erişim Adresi: <https://www.icao.int/MID/Documents/2017/Aviation%20Data%20and%20Analysis%20Seminar/PPT3%20-%20Airlines%20Operating%20costs%20and%20productivity.pdf>

ICAO, (2021). Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis. Erişim Adresi: https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf

Kanbur, A. (2017). Havacılıkta Stratejik Yönetim. (Editör: E. Kanbur ve U. Turhan) içinde, Havayolu Yönetimi, *Atatürk Üniversitesi AÖF Yayınları, Erzurum.*

Kanbur, E., ve Karakavuz, H. (2017). Stratejik Yönetim Kapsamında Küresel Havayolu İşbirliklerinin SWOT Analizi. *Journal of Aviation*, 1(2), 74-86.

Karakavuz, H. (2020). Covid-19'un Türk Havayolu İşletmeleri Üzerindeki Etkilerine İlişkin Bir Swot Analizi. *Turkish Studies*, 15(8), 3573-3591.

Leskinen, L.A., Leskinen, P., Kurttila, M., Kangas, J. ve Kajanus, M. (2006). Adapting Modern Strategic Decision Support Tools in The Participatory Strategy Process-A Case Study of A Forest Research Station. *Forest Policy and Economics* 8, 267-278

Septiani, V., ve Cahyono, D. (2019). Education and Training Strategy in Palembang Aviation College. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3).

Sevki, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Turkeyilmaz, A., ve Delen, D. (2012). Development of A Fuzzy ANP Based SWOT Analysis for The Airline Industry in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 14-24.

Url<<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulasirma-ve-haberlesme-112&dil=1>>, Erişim tarihi 25.02.2021.

Url-2<<http://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-isletmeleri/2067-yetkili-havacilik-egitim-kuruluslari>>, Erişim tarihi 17.03.2021

Url-3<<http://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-isletmeleri/2064-yetkili-bakim-kuruluslari>>, Erişim tarihi 07.03.2021.

Url-4<<https://www.mysoft.com.tr/milli-teknoloji-nedir-milli-teknoloji-genel-mudurlugu-gorevleri-nedir>>, Erişim tarihi 24.04.2021

Yalçın, O. (2014). Çanakkale Cephesi Hava Harekatının SWOT ve Pest Analizi Yöntemi ile İncelenmesi. *Çanakkale Araştırmaları Türk Yılığ*, 12(17), 1-32.

Yazıcı, E. (2018). Havayolu Pazarının Gelişimi ve Bağlanabilirlik İlişkisi: Türkiye İçin Durum Değerlendirmesi. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Araştırmaları Merkezi Başkanlığı, Ankara.*

Yılmaz, F. (2020) Türkiye’de Sivil Havacılık Sektörünün Tarihsel Gelişimi ve 2003-2018 Yılları Arasında Sektörün Değerlendirilmesi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 113-129.