

Elektrikli Dikey Kalkış ve İniş Araçlarının Teknolojik Gelişimi Üzerine Çok Boyutlu Bir Yaklaşım

Özge YILKICI*, Nalan AKYURT**, Didem Rodoplu ŞAHİN***

Öz

Amaç: Bu çalışmanın temel amacı, elektrikli dikey kalkış ve iniş yapabilen hava araçları (eVTOL) sistemlerinin şehir içi ulaşım sistemlerine entegrasyon potansiyelini hukuki, teknolojik, Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) ve kullanıcı kabulü gibi çoklu perspektiflerle derinlemesine incelemektir.

Metodoloji: Belirtilen dört ana perspektifi değerlendirmek üzere nitel bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Veriler, alanda uzman kişilerden (hukukçular, mühendisler, hava trafik kontrolörleri, apron personeli) ve potansiyel kullanıcılardan oluşan bir gruba yapılan yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeler yoluyla toplanmıştır. Görüşme verileri, MAXQDA yazılımı kullanılarak kodlanmış ve tematik analiz yöntemiyle detaylıca incelenmiştir.

Bulgular: eVTOL teknolojisinin hızla gelişmesine rağmen, mevcut hukuki çerçevenin bu ilerlemeye henüz tam anlamıyla uyum sağlayamadığı araştırma bulguları arasında öne çıkmaktadır. Özellikle katılımcılar, mevcut havacılık mevzuatının eVTOL sistemlerinin gerektirdiği operasyonel ve teknik düzenlemeleri kapsamakta yetersiz kaldığını ifade etmiştir. Bu durum bir katılımcı tarafından şu şekilde dile getirilmiştir: "Mevcut havacılık mevzuatı eVTOL gibi yeni nesil araçlar için yeterli değil, özel düzenlemelere ihtiyaç var." (Katılımcı 41)

Bununla birlikte, hava trafik yönetim sistemlerinin eVTOL entegrasyonu için mevcut haliyle yeterli olmadığı ve önemli altyapı yatırımlarına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Katılımcılar, özellikle düşük irtifa hava sahasında yoğunluk artışı ve otonom sistemlerin yönetimi açısından yeni bir sistem gerekliliğini vurgulamıştır: "Bu sistem mevcut haliyle bu kadar yoğun trafiği kaldıramaz, yeni bir hava trafik yapısı kurulmalı." (Katılımcı 3)

Ayrıca, potansiyel kullanıcıların eVTOL teknolojisine yönelik bilgi ve farkındalık düzeylerinin sınırlı olduğu da önemli bir bulgu olarak ortaya çıkmıştır. Katılımcıların önemli bir kısmı, bu yeni ulaşım biçimine ilişkin yeterli bilgiye sahip olmadıklarını belirtmiştir:

"Daha önce böyle bir sistemi detaylı duymadım, nasıl çalıştığını tam bilmiyorum." (Katılımcı 32)

Bu bulgular, MAXQDA analiz sonuçlarında da desteklenmekte olup, "hukuki düzenleme ihtiyacı", "altyapı eksikliği" ve "kullanıcı farkındalığı" temalarının yüksek frekanslı kodlar arasında yer aldığı görülmüştür. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, yalnızca katılımcı görüşlerine değil, aynı zamanda sistematik nitel veri analizine dayanmaktadır.

Pratik Çıkarımlar: Çalışma eVTOL teknolojilerinin şehir içi ulaşımında devrimsel bir dönüşüm yaratma potansiyelinin tam olarak değerlendirilebilmesi için ilgili paydaşlara yol göstermektedir. Bu potansiyelin gerçekleşmesi adına, mevzuatın güncellenmesi, altyapı (vertiportlar ve Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) sistemleri) yatırımlarının hızlandırılması ve kullanıcı farkındalığını artırmaya yönelik bütüncül bir stratejinin benimsenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Özgünlük: Bu çalışma, eVTOL entegrasyonu konusunu sadece teknik veya ekonomik boyutlarla sınırlı kalmayıp, hukuki, teknolojik, operasyonel ve sosyal kabul boyutlarını bir araya getiren kapsamlı, çoklu perspektifli nitel bir değerlendirme sunması ve verileri birincil kaynaklardan (uzman ve kullanıcı görüşleri) tematik analizle işleme aşısından alana önemli bir özgün katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: EVTOL, Kentsel Hava Hareketliliği, Havacılık Teknolojisi, Hava Trafik Entegrasyonu, Hukuki Düzenlemeler, Kullanıcı Kabulü, Sürdürülebilir Ulaşım

Jel Sınıflandırması: R41, O33, K23, L93, O18

* Kocaeli Üniversitesi, Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, Havacılık Yönetimi Pr., oozgebulbul@hotmail.com, 0000-0001-2345-6789

** İstanbul Ticaret Üniversitesi, akuyrttnalan@gmail.com, 0009-0002-1383-7785

*** Kocaeli Üniversitesi, drodoplu@gmail.com, 5337105844, 0000-0002-1779-8472

Technological Evolution of Electric Vertical Take-Off and Landing Vehicles: A Multidimensional Approach

ABSTRACT

Purpose The main objective of this study is to thoroughly examine the integration potential of electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) systems into urban transportation networks through multiple perspectives, specifically focusing on legal regulations, technological advancements, Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) integration, and user acceptance.

Methodology: The research was designed with a qualitative approach to evaluate the four key perspectives. Data was collected through semi-structured in-depth interviews with a group of experts (legal professionals, engineers, air traffic controllers, apron staff) and potential users. The interview data were coded using MAXQDA software and analyzed in detail using the thematic analysis method.

Findings: The findings indicate that despite the rapid evolution of eVTOL technology, the current legal framework has not yet fully adapted to this progress, revealing regulatory gaps. Furthermore, it was determined that significant infrastructure investments are required for Air Traffic Management systems to accommodate eVTOL integration, and that potential users possess limited knowledge and awareness regarding this new mode of transport.

Practical Implications: The study provides guidance to relevant stakeholders on how to fully realize the potential of eVTOL technologies in creating a revolutionary transformation in urban mobility. It highlights the necessity of adopting a holistic strategy that involves updating legislation, accelerating infrastructure (vertiports and ATC systems) investments, and increasing user awareness.

Originality: This study makes a significant and original contribution to the field by offering a comprehensive, multi-perspective qualitative assessment that integrates the legal, technological, operational, and social acceptance dimensions of eVTOL integration, and by processing data from primary sources (expert and user interviews) using thematic analysis.

Keywords: Air Traffic Integration, Aviation Technology, eVTOL, Legal Regulations, Sustainable Transportation, Urban Air Mobility, User Acceptance

JEL Codes: R41, O33, K23, L93, O18

1. Giriş

Günümüzde kentleşme oranlarının hızla artması, ulaşım sistemlerinin hem yapısal hem de teknolojik açıdan köklü bir dönüşüm geçirmesini zorunlu kılmaktadır. Birleşmiş Milletler (2023) verilerine göre, 1950 yılında dünya genelinde kentlerde yaşayan nüfus oranı %30 iken bu oran 2023 itibarıyla %57'ye ulaşmıştır. Nüfus yoğunluğundaki bu dramatik artış; trafik sıkışıklığı, karbon salımı, çevresel bozulma, zaman yönetimi sorunları ve mevcut ulaşım altyapısının yetersizliği gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar, geleneksel kara ulaşım sistemlerinin etkinliğini azaltmakta ve şehir içi hareketliliğin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Dolayısıyla, kent içi mobilite sistemlerinde yenilikçi, çevreci ve teknolojik olarak evrimleşmiş ulaşım çözümlerine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Bu dönüşüm sürecinde, elektrikli dikey kalkış ve iniş yapabilen hava araçları (eVTOL – Electric Vertical Take-Off and Landing), şehir içi ulaşımın geleceğini yeniden şekillendirebilecek bir “tasarım ve teknolojik evrim” örneği olarak öne çıkmaktadır. Sessiz çalışma özellikleri, sıfır emisyon potansiyelleri, dikey kalkış-iniş kabiliyetleri ve otonom sistemlerle bütünleşebilme yetenekleri, eVTOL’leri kentsel mobilitenin yeni paradigmasını temsil eden önemli bir yenilik haline getirmiştir. Ancak, bu sistemlerin kent yaşamına entegrasyonu yalnızca mühendislik üstünlükleriyle değil; altyapı uyumluluğu, düzenleyici çerçeve, hava trafik entegrasyonu, kamusal kabul düzeyi ve kullanıcı deneyimi gibi çoklu boyutlarla da ilişkilidir. Dolayısıyla, eVTOL teknolojilerinin şehir içi ulaşım sistemlerine entegre edilebilmesi, teknik tasarımdan öte toplumsal, yönetsel ve etik katmanları da içeren karmaşık bir evrim süreci olarak değerlendirilmelidir.

Mevcut literatür, eVTOL teknolojileri üzerine giderek artan bir ilgiye işaret etmektedir (Müller et al., 2022; Lim & Choi, 2023; Urban & Wolf, 2024). Ancak bu çalışmaların büyük bölümü ya mühendislik odaklı teknik fizibilite analizleriyle (örneğin batarya performansı, uçuş menzili, gürültü seviyesi) ya da kent planlama perspektifinden düzenleyici altyapıya odaklanmakta; tasarım, teknolojik evrim ve toplumsal kabul süreçlerini bütüncül biçimde ele alan bir yaklaşım eksik kalmaktadır. Özellikle Türkiye bağlamında yapılan çalışmalar, çoğunlukla prototip geliştirme veya teknolojik yeterlilik değerlendirmeleri düzeyinde kalmakta, çoklu perspektifli bir değerlendirme modeli henüz sistematik biçimde uygulanmamaktadır.

Bu araştırma, söz konusu literatür boşluğunu doldurmayı hedefleyerek, eVTOL sistemlerinin şehir içi ulaşım sistemlerine entegrasyonunu “çoklu perspektif değerlendirme yaklaşımı” (multi-perspective evaluation framework) çerçevesinde ele almaktadır. (Mingers and Brocklesby, 1997), (Patton, 2015) ve (Wolff & Frank, 2005) gibi araştırmacıların geliştirdiği bu yaklaşım, karmaşık sosyo-teknik sistemlerin yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyal, yönetsel ve etik boyutlarını da içeren bütüncül bir analiz modeline dayanmaktadır.

Bu doğrultuda, araştırmada eVTOL teknolojilerinin kent içi ulaşım sistemine entegrasyonu dört temel perspektif üzerinden incelenmektedir:

1. Teknik-Tasarım Perspektifi: Batarya teknolojileri, menzil kapasitesi, otonom uçuş sistemleri ve yapay zekâ tabanlı kontrol mekanizmaları gibi unsurların, eVTOL araçlarının teknolojik evrimi ve operasyonel başarısına etkisi.

2. Altyapı ve Hava Trafik Entegrasyonu Perspektifi: Hava trafik yönetimi, vertiport tasarımı ve kentsel altyapı uyumluluğuna ilişkin gerekliliklerin sistemin sürdürülebilirliğindeki rolü.
3. Yönetmel ve Hukuki Perspektif: Sertifikasyon süreçleri, güvenlik standartları ve düzenleyici çerçevelerin teknolojinin gerçek dünyadaki uygulanabilirliğini nasıl şekillendirdiği.
4. Toplumsal ve Kullanıcı Perspektifi: Kamuoyunun eVTOL'lere yönelik algısı, güven düzeyi, konfor ve mahremiyet beklentileri gibi sosyo-psikolojik faktörlerin toplumsal kabul üzerindeki etkisi.

Bu dört perspektif, nitel araştırma yöntemleri doğrultusunda yürütülen ön saha çalışmaları ve uzman görüşmeleri ışığında belirlenmiştir. Araştırma kapsamında havacılık hukuku, mühendislik, şehir planlama, hava trafik kontrolü ve kullanıcı deneyimi gibi alanlarda uzmanlaşmış katılımcılarla yapılan yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeler, kavramsal çerçevenin çok katmanlı yapısını desteklemektedir. Bu yönüyle çalışma, eVTOL teknolojilerinin yalnızca teknik fizibilitesine değil, aynı zamanda tasarım evrimi, toplumsal kabul ve yönetmel sürdürülebilirlik boyutlarına da odaklanarak literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Böylece, hem Türkiye bağlamında geliştirilen kentsel hava mobilite projelerine kavramsal bir referans çerçevesi sağlamakta hem de uluslararası akademik alanda eVTOL tasarımı ve teknolojik dönüşümüne ilişkin çoklu perspektifli bir değerlendirme modeli önermektedir.

2. Literatür Taraması

2.1. Uluslararası Literatür

Son yıllarda Kentsel Hava Hareketliliği (Urban Air Mobility – UAM) ve özellikle elektrikli dikey kalkış ve iniş (eVTOL) araçlarına yönelik araştırmalar, havacılıkta yeni bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Uluslararası literatür genel olarak teknolojik gelişmeler, altyapı gereklilikleri, regülatönel çerçeve, toplumsal kabullenme ve iş modelleri gibi çok boyutlu konular etrafında şekillenmektedir. Öncelikle, teknolojik altyapı ve mühendislik temelli çalışmalar dikkat çekmektedir. (Rajendran and Zack, 2019), eVTOL platformlarının batarya teknolojileri, menzil kısıtları ve enerji verimliliği üzerine kapsamlı bir inceleme sunmuştur. (Holden and Goel, 2016) tarafından Uber Elevate projesi kapsamında yapılan çalışmada ise,

eVTOL araçlarının kent içi ulaşımdaki potansiyeli değerlendirilmiş ve operasyonel senaryolar oluşturulmuştur. Antcliff, Moore ve Goodrich (2016), NASA'nın UAM vizyonu çerçevesinde operasyonel modeller geliştirirken; (Vascik and Hansman, 2018), eVTOL operasyonlarının hava sahası yönetimi üzerindeki etkilerini tartışmış ve düzenleyici boşluklara dikkat çekmiştir. Toplumsal kabullenme ve kullanıcı davranışları açısından yapılan araştırmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. (Roche-Cerasi, 2019), eVTOL araçlarının kent toplumlarında yarattığı algıyı inceleyerek, gürültü, güvenlik, mahremiyet ve maliyet unsurlarının kullanıcı niyeti üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. (Fu, Rothfeld and Antoniou, 2019) kullanıcı tercihlerini modelleyerek eVTOL'ların toplu ulaşım sistemlerine entegrasyonuna yönelik senaryolar geliştirmiştir. Daha yakın dönemli olarak *Consumer intention over upcoming utopia: Urban Air Mobility* (Lee et al., 2022) çalışması, tüketici kabulünü teknoloji adaptasyon teorileri üzerinden değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, UAM'in yalnızca teknolojik değil aynı zamanda psikolojik ve sosyo-ekonomik kabul süreciyle de şekillendiğini göstermektedir. Ayrıca, iş modelleri ve pazarlama stratejileri de son yıllarda uluslararası literatürde öne çıkan temalardandır. *An assessment of current marketing strategies of urban air mobility* (Zhang & Kwon, 2021) çalışması, havayolu sektöründeki geleneksel modellerden farklı olarak, UAM girişimlerinin yenilikçi iş modelleri, ortaklık stratejileri ve fiyatlandırma yapıları üzerine odaklanmıştır. Bu perspektif, UAM ekosisteminin yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik bir dönüşüm süreci olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında, sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler konuları da literatürde geniş yer bulmaktadır. (Kasliwal et al., 2019) ve (Straubinger et al., 2020), UAM'in karbon emisyonlarının azaltılmasına ve şehir içi trafik sıkışıklığının hafifletilmesine katkı sağlayabileceğini vurgulamaktadır. Ancak bazı çalışmalar (Kellermann et al., 2021), yüksek enerji tüketimi ve hava trafiği yoğunluğu nedeniyle UAM'in sürdürülebilirlik hedefleriyle çelişebileceğini öne sürmüştür. Coğrafi bağlama göre yapılan karşılaştırmalarda ise farklı eğilimler görülmektedir: ABD ve Avrupa'da yapılan çalışmalar hava sahası entegrasyonu ve güvenlik regülasyonlarına odaklanırken (Thippavong et al., 2018; Garrow et al., 2021), Asya ülkelerinde toplumsal kabullenme, kent planlaması ve yaşam tarzı entegrasyonu daha fazla ön plandadır (Fu et al., 2022; Bauranov and Rakas, 2021). Sonuç olarak uluslararası literatür, eVTOL teknolojilerinin yalnızca mühendislik perspektifinden değil, aynı zamanda kentsel planlama, regülasyon, çevresel etki, kullanıcı davranışları ve ekonomik sürdürülebilirlik bağlamında çok disiplinli bir yaklaşım gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Türkiye’de Literatür

Türkiye’de UAM ve eVTOL araştırmaları henüz erken gelişim aşamasında olup, çoğunlukla mühendislik ve sistem entegrasyonu odaklıdır. ULAKBİM, TR Dizin ve YÖK Tez Merkezi taramalarında görülen çalışmaların önemli bir bölümü teknik altyapı, batarya sistemleri ve aerodinamik optimizasyon üzerine yoğunlaşmaktadır. (Demir, 2021) yüksek lisans tezinde eVTOL araçlarının batarya teknolojilerini ve performans parametrelerini analiz etmiştir. (Yıldız, 2022) ise Türkiye hava sahası için simülasyon tabanlı bir eVTOL entegrasyon modeli geliştirmiştir. Bu çalışmalar, sistemsel entegrasyon açısından önem taşımakla birlikte, regülasyon, kullanıcı kabulü ve ekonomik fizibilite konularına sınırlı şekilde değinmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda sosyal bilimler ve yönetim perspektifinden yapılan çalışmaların artmaya başladığı görülmektedir. (Arat and Kuzu 2022), Türkiye’de geliştirilen CEZERİ ve benzeri yerli eVTOL projelerini analiz ederek teknolojik kapasite ve endüstriyel dönüşüm boyutunu ortaya koymuştur. (Aktaş and Kılıç 2023), kentsel hava hareketliliğinin Türkiye’nin kentleşme dinamikleri, ulaşım politikaları ve regülasyon çerçevesiyle ilişkisini değerlendirmiştir. Öztürk (2022) ise eVTOL teknolojilerinin toplumsal kabullenmesi ve algısal riskleri üzerine çalışarak, kullanıcı güveninin önemine vurgu yapmıştır. Ayrıca, “Kentsel Hava Taşımacılığı Kabul ve Kullanım Modeli: Bir Ölçek Geliştirme Çalışması” (Çelik, 2024) UAM’ın toplumsal kabulünü ölçmeye yönelik ilk ölçek uyarlama girişimi olarak öne çıkmaktadır. Yine “Hava Taşımacılığında Değişen İş Modelleri” başlıklı çalışma (İleri, 2023), UAM ekosisteminin ekonomik yönüne ışık tutarak sektördeki dönüşümün Türkiye’ye yansımalarını tartışmıştır. Kurumsal ve sektörel düzeyde yapılan raporlar da literatürü destekleyici niteliktedir. (Baykar,2022) ve (TUSAŞ,2021) raporlarında yerli eVTOL projelerinin teknik gelişim süreci aktarılmakta; Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün (SHGM, 2022) yayımladığı UAM odaklı mevzuat taslaklarında ise regülasyon sürecinin henüz olgunlaşmadığı belirtilmektedir. Türkiye literatüründe genel eğilim, mühendislik merkezli araştırmaların baskın olduğu, ancak yönetim, kent planlaması, kullanıcı davranışları ve ekonomik sürdürülebilirlik temalarının yeterince çalışılmadığı yönündedir (Kaya, 2021; Arslan, 2022; Çelik, 2024). Bu durum, Türkiye’de UAM alanında çok disiplinli bir yaklaşımın henüz kurumsallaşmadığını göstermektedir. Sonuç olarak Türkiye’deki literatür, uluslararası araştırmalara kıyasla henüz başlangıç aşamasında olup, gelecekteki çalışmaların teknik odaklı yaklaşımları aşarak politik, çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutları da içeren bütüncül bir perspektif geliştirmesi gerekmektedir.

Tablo 1. eVTOL ve Kentsel Hava Taşımacılığı Üzerine Uluslararası ve Türkiye Literatüründeki Eğilimler

Tema	Uluslararası Literatür	Türkiye Literatürü	Değerlendirme
Teknolojik Gelişim (eVTOL Donanımı, Batarya, Menzil)	Rajendran & Zack (2019); Antcliff et al. (2016); Holden & Goel (2016) – Batarya teknolojileri, enerji verimliliği ve operasyonel entegrasyon üzerine odaklanılmıştır.	Demir (2021); Yıldız (2022); Baykar (2022) – Yerli eVTOL sistemleri (örneğin CEZERİ) ve batarya performans analizleri ön plandadır.	Türkiye’de çalışmalar teknik odaklıdır; operasyonel modelleme ve sistem testleri sınırlıdır.
Hava Sahası Yönetimi ve Regülasyon	Vascik & Hansman (2018); Thippavong vd. (2018); Garrow vd. (2021) – Hava trafiği entegrasyonu, güvenlik ve regülasyon çerçevesi tartışılmıştır.	Aktaş & Kılıç (2023); SHGM (2022) – Regülasyon çerçevesi henüz taslak düzeyindedir, mevzuat olgunlaşmamıştır.	Türkiye’de regülasyon eksiklikleri araştırmaların dağınık kalmasına yol açmaktadır.
Toplumsal Kabullenme ve Kullanıcı Niyeti	Roche-Cerasi (2019); Fu vd. (2019); Lee et al. (2022) – Gürültü, güvenlik, gizlilik ve teknoloji adaptasyonu konuları öne çıkmıştır.	Öztürk (2022); Çelik (2024) – Kullanıcı kabulü üzerine ölçek geliştirme çalışmaları başlamıştır.	Türkiye literatüründe toplumsal kabul konusu yeni gelişmektedir.
İş Modelleri ve Ekonomik Yaklaşım	Zhang & Kwon (2021); Garrow vd. (2021) – Yeni iş modelleri, pazar yapısı ve ekonomik sürdürülebilirlik tartışılmıştır.	İleri (2023); Kaya (2021) – UAM’in hava taşımacılığı iş modellerine etkisi ve ekonomik potansiyeli değerlendirilmiştir.	Uluslararası literatür ekonomik çerçeveyi daha kapsamlı ele almaktadır.
Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etki	Kasliwal vd. (2019); Straubinger vd. (2020); Kellermann vd. (2021) – Karbon emisyonu ve enerji tüketimi analiz edilmiştir.	Arat & Kuzu (2022); Arslan (2022) – Yerli eVTOL sistemlerinin çevresel etkileri kısıtlı olarak tartışılmıştır.	Türkiye’de çevresel sürdürülebilirlik odaklı çalışmalar henüz başlangıç düzeyindedir.
Kent Planlaması ve Ulaşım Entegrasyonu	Bauranov and Rakas (2021); Fu et al. (2022) – UAM’in şehir planlamasına entegrasyonu, altyapı planları incelenmiştir.	Aktaş & Kılıç (2023); İleri (2023) – Kentsel yönetim ve ulaşım politikaları bağlamında değerlendirmeler yapılmıştır.	Türkiye’de kentsel altyapı entegrasyonu üzerine saha verisi eksiktir.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablodaki karşılaştırma, uluslararası ve ulusal literatür arasındaki yaklaşım farkını açık biçimde ortaya koymaktadır. Uluslararası literatür, kentsel hava hareketliliğini (UAM) yalnızca teknolojik bir yenilik olarak değil, aynı zamanda sosyo-tek-nik bir dönüşüm süreci olarak ele almaktadır. Bu nedenle yabancı araştırmalar,

mühendislik altyapısından kullanıcı deneyimine, regülasyondan sürdürülebilirliğe kadar geniş bir disiplin yelpazesinde bütüncül analizler sunmaktadır. Özellikle ABD ve Avrupa kaynaklı çalışmalarda (Thippavong et al., 2018; Garrow et al., 2021), hava sahası entegrasyonu, güvenlik standartları ve politika oluşturma süreçleri detaylı biçimde ele alınmıştır. Buna karşılık Türkiye literatüründe araştırmaların çoğunlukla teknik veya mühendislik temelli olduğu görülmektedir. Yerli eVTOL projeleri (örneğin CEZERİ) üzerine yapılan çalışmalar, teknolojik kapasiteyi ortaya koysa da sosyal kabul, yönetim ve şehir planlama gibi konular ikincil planda kalmaktadır. Bu durum, ulusal literatürde henüz çok disiplinli bir paradigma oluşmadığını göstermektedir. Toplumsal kabullenme, kamu algısı ve kullanıcı niyeti gibi konular son yıllarda (Öztürk, 2022; Çelik, 2024) ele alınmaya başlanmış olsa da hâlâ sınırlı örneklem ve ölçeklerle yürütülmektedir. Ayrıca, Türkiye'deki çalışmalar genellikle mevzuatın eksikliği ve düzenleyici belirsizlikler nedeniyle uygulamaya dönük öneriler geliştirmekte zorlanmaktadır. Bu durum, literatürdeki pratik politika önerilerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında, uluslararası çalışmalar karbon nötr kent vizyonuna güçlü bir şekilde entegre olurken (Kasliwal et al., 2019; Straubinger et al., 2020), Türkiye'de bu alan henüz çevresel raporlarla sınırlı kalmaktadır (Arat & Kuzu, 2022). Dolayısıyla gelecekte yapılacak ulusal çalışmaların, UAM teknolojilerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini bütüncül bir sistem yaklaşımıyla değerlendirmesi önem arz etmektedir. Sonuç olarak, literatürün genel eğilimi Türkiye'nin UAM ve eVTOL alanında teknolojik gelişim bakımından hızla ilerlediğini, ancak düzenleyici, sosyal ve yönetsel bileşenler açısından uluslararası standartların gerisinde kaldığını göstermektedir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, mühendislik temelli araştırmaların yanında şehir planlaması, kullanıcı davranışı, etik ve politika üretimi gibi alanları içeren çoklu perspektifli bir yaklaşım benimsenmesi önerilmektedir. Uluslararası ve ulusal literatürün karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, birkaç kritik boşluğu açıkça ortaya koymaktadır. Birincisi, uluslararası çalışmalar UAM'ı teknolojik, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla bütüncül bir sistem olarak incelerken, Türkiye literatürü bu boyutları henüz birlikte ele alamamaktadır. İkincisi, kullanıcı kabulü ve toplumsal algı konusunda uluslararası alanda olgunlaşmış ölçüm araçları ve geniş örneklemler mevcutken, Türkiye'de bu alan yeni gelişmekte olup sınırlı örneklemlerle yürütülmektedir. Üçüncüsü, regülasyon ve yönetim boyutunda uluslararası literatür politika önerileri üretecek olgunluğa ulaşmışken, Türkiye'de mevzuatın taslak düzeyinde kalması araştırmaların uygulamaya dönük çıktılar üretmesini engellemektedir. Dördüncüsü, sür-

dürülebilirlik ve çevresel etki konuları uluslararası çalışmalarda merkezi bir tema iken Türkiye’de yalnızca teknik raporlarla sınırlı kalmaktadır. Bu boşluklar, mevcut çalışmanın araştırma sorularının doğrudan kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışma, Türkiye bağlamında UAM’i salt bir mühendislik meselesi olarak değil; kentsel yönetim, kullanıcı davranışı, ekonomik fizibilite ve politika üretimi eksenlerini bir arada değerlendiren çok disiplinli bir perspektifle ele almaktadır. Bu yönüyle çalışma, ulusal literatürdeki tek boyutlu teknik odağı aşarak, uluslararası araştırmalarla daha uyumlu ve karşılaştırılabilir bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir. Dolayısıyla mevcut çalışma, yalnızca bir literatür boşluğunu doldurmakla kalmayıp Türkiye’de UAM alanında çok disiplinli araştırma geleneğinin oluşmasına da katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

3. Kavramsal Çerçeve

Kent içi mobilite sistemlerinde yaşanan paradigma değişimi, elektrikli dikey kalkış ve iniş yapabilen hava araçları (eVTOL) gibi yenilikçi teknolojilerin yükselişleriyle hız kazanmıştır. Bu araçlar, “Kentsel Hava Hareketliliği” (Urban Air Mobility – UAM) olarak adlandırılan geniş bir ekosistem içerisinde hem bireysel hem de toplu taşıma ihtiyaçlarına yönelik çevre dostu ve ileri teknolojiye dayalı bir alternatif sunma potansiyeli taşımaktadır (Goyal et al., 2023; Straubinger et al., 2020). eVTOL teknolojisinin hızla gelişimi, geleneksel ulaşım sistemlerinin sadece fiziksel altyapısını değil; aynı zamanda dijital, yasal ve toplumsal boyutlarını da yeniden yapılandırma zorunluluğunu beraberinde getirmiştir (Riccobono et al., 2022). Bu dönüşüm, karmaşık bir sosyo-tekniik sistem olarak ele alınmayı gerektirmektedir. eVTOL sistemleri, temel olarak elektrikli motorlar, yüksek kapasiteli batarya teknolojileri, gelişmiş otonom uçuş yazılımları ve kendine özgü dikey kalkış/iniş kabiliyetleriyle geleneksel hava taşıtlarından ayrılmaktadır (MIT, 2022; Zhang and Li, 2019). Bu teknolojik üstünlükler, UAM’in kent merkezlerinde hava koridorları oluşturma ve trafik sıkışıklığını azaltma vizyonunu desteklemektedir (Rothfeld et al., 2021). Ancak, bu sistemlerin operasyonel hale gelmesi sadece teknolojik yeterlilikle sınırlı değildir; aynı zamanda kapsamlı altyapı yatırımları, ulusal ve uluslararası düzenlemelerin oluşturulması ve toplumun bu yeni ulaşım biçimine yönelik kabul mekanizmalarının geliştirilmesi gibi çok boyutlu gereklilikleri içermektedir (EASA, 2021; ICAO, 2023). Bu nedenle, eVTOL teknolojilerinin entegrasyonu, mühendislik yaklaşımlarının ötesinde, disiplinler arası bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Bu araştırmanın kavramsal çerçevesi, eVTOL sistemlerinin uygulanabilirliğini

ve etkilerini çok yönlü bir yaklaşımla değerlendirmek üzere dört ana eksene dayanmaktadır:

3.1. Altyapı Perspektifi

eVTOL sistemlerinin kentsel ulaşım ağlarına entegrasyonu, yalnızca hava aracı teknolojisinin geliştirilmesiyle sınırlı değil; şehir planlaması, enerji yönetimi, hava sahası mimarisi ve hukuki çerçeve gibi birbirini besleyen çok katmanlı bir altyapı dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Bu dönüşümün başarıyla yönetilebilmesi için mevcut kentsel sistemlerin UAM gerekliliklerine göre yeniden yapılandırılması ve her bir alt bileşenin sistematik biçimde ele alınması gerekmektedir.

3.1.1. Vertiport Yerleşimi ve Şehir Planlamasıyla Entegrasyon

Vertiportlar, UAM sisteminin fiziksel omurgasını oluşturmaktadır. Ancak mevcut şehir planlama pratikleri, vertiport konumlandırmasını doğrudan destekleyen bir altyapıya henüz sahip değildir. Bu nedenle vertiport entegrasyonunun, imar planları, ulaşım ana planları ve çevre düzeni planları gibi yasal planlama belgeleri içine açıkça yerleştirilmesi gerekmektedir.

Vertiport konumlandırmasında dört temel kriter belirleyici olmaktadır:

a) Erişilebilirlik ve Intermodal Entegrasyon: Vertiportların metro istasyonları, otobüs terminalleri, tren garları ve park-bisiklet noktalarına yürüme mesafesinde konumlandırılması, UAM'in mevcut toplu ulaşım sistemleriyle sorunsuz entegrasyonunu sağlar. İstanbul örneğinde düşünüldüğünde, Atatürk veya Sabiha Gökçen havalimanları bölgelerindeki mevcut intermodal ulaşım altyapısı, ilk vertiport pilot alanları için uygun bir zemin sunabilir. Benzer biçimde, Boğaz geçiş güzergahlarındaki yoğun trafik düğüm noktaları (Beşiktaş, Kadıköy, Ümraniye) vertiport yerleşimi açısından öncelikli aday bölgeler olarak değerlendirilebilir.

b) Nüfus Yoğunluğu ve Talep Analizi: Vertiport konumlarının belirlenmesinde bölgesel yolculuk talep tahminlerinin yapılması zorunludur. Günde 500 ile 2.000 yolcuya hizmet verebilecek kapasitede tasarlanacak bir vertiport, en az 5-10 hektar kullanılabilir alan gerektirmektedir (Vascik & Hansman, 2018). Bu alan gereksinimi, İstanbul gibi yoğun yapılaşmış şehirlerde mevcut binaların çatılarının veya liman bölgelerinin dönüştürülmesiyle karşılanabilir.

c) Gürültü ve Çevresel Uyum: eVTOL araçları geleneksel helikopterlere kıyasla çok daha düşük gürültü üretse de özellikle kalkış ve iniş fazlarındaki gürültü

seviyesi (yaklaşık 65-70 dB) yerleşim bölgelerine olan mesafe kısıtlamalarını gündeme getirmektedir (Basner et al., 2017). Bu bağlamda vertiport alanlarının en az 300-500 metre mesafe tampon bölgeleri içinde planlanması önerilmektedir.

d) Kentsel Mekânla Uyum ve Mimari Standartlar: Vertiportların salt işlevsel yapılar olarak değil, kentsel donatı elemanları olarak tasarlanması önem taşımaktadır. Çatı vertiportları (rooftop vertiports) için yapısal yük taşıma kapasitesi, yangın güvenliği, tahliye rotaları ve gürültü yalıtımı standartlarının ulusal yapı yönetmeliklerine eklenmesi gerekmektedir. Singapur ve Dubai’de bu yaklaşımın pilot uygulamaları halihazırda sürdürülmektedir.

3.1.2. Enerji Altyapısı ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu

eVTOL araçlarının yoğun kullanım senaryolarında ortaya çıkardığı enerji talebi, şehirlerin mevcut elektrik şebekesi kapasitesini zorlayabilecek bir büyüklüktedir. Tipik bir eVTOL aracının her şarj döngüsünde yaklaşık 80-150 kWh enerji tükettiği göz önünde bulundurulduğunda, bir vertiportta saatte 10-20 araç kapasitesine ulaşmak için 1-3 MW anlık güç kapasitesi gerekmektedir (Kasliwal et al., 2019).

Bu enerji ihtiyacına yönelik üç katmanlı bir altyapı modeli önerilebilir:

Birinci Katman – Şebeke Güçlendirmesi: Mevcut elektrik dağıtım şebekesinin yük dengeleme sistemleriyle güçlendirilmesi ve vertiport lokasyonlarına özel enerji besleme hatlarının döşenmesi. Bu süreç, Türkiye’de TEDAŞ ve EPDK koordinasyonu ile yürütülmelidir.

İkinci Katman – Yerinde Enerji Üretimi: Vertiport çatı ve çevre yüzeylerine entegre güneş panelleri, vertiport enerji ihtiyacının %20-40’ını karşılayabilir (Straubinger et al., 2020). Bu yaklaşım hem enerji maliyetlerini düşürmekte hem de UAM’in sürdürülebilirlik iddiasını desteklemektedir.

Üçüncü Katman – Akıllı Şarj ve Enerji Depolama: Şarj taleplerinin anlık yönetimi için yapay zekâ destekli akıllı şarj sistemleri ve şebeke gerilimini dengelemek için büyük ölçekli batarya depolama üniteleri hayata geçirilmelidir. Bu sistemler, özellikle yoğun saatlerde talep tepesi (peak demand) problemlerini azaltacaktır.

Türkiye bağlamında önemli bir fırsat da, UAM enerji altyapısının Türkiye’nin 2035 yenilenebilir enerji hedefleriyle uyumlu biçimde tasarlanmasıdır. Bu yakla-

şım, UAM altyapısını ulusal enerji dönüşümünün bir bileşeni olarak konumlandırarak finansman ve teşvik mekanizmalarından yararlanılmasına zemin hazırlayabilir.

3.1.3. Hava Sahası Entegrasyonu ve UTM Sistemleri

eVTOL araçlarının kentsel hava sahasında güvenli ve verimli biçimde operasyon gerçekleştirebilmesi, mevcut Hava Trafik Yönetimi (ATM) altyapısıyla uyumlu yeni nesil bir Kentsel Hava Trafiği Yönetimi (UTM – Urban Traffic Management) sisteminin kurulmasını gerektirmektedir. ICAO ve EASA'nın belirlediği çerçeveler doğrultusunda UTM sistemlerinin üç temel işlevi yerine getirmesi beklenmektedir: uçuş koridorlarının dinamik olarak tanımlanması, araçlar arası ve araç-yer arası gerçek zamanlı iletişimin sağlanması ve çakışma önleme algoritmalarının sürekli çalışır halde tutulması.

Türkiye'de bu sürecin yönetimi açısından DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi) bünyesinde bir UAM koordinasyon birimi kurulması ve bu birimin Avrupa'nın U-Space çerçevesiyle uyumlu bir pilot UTM sistemi geliştirmesi önerilebilir. Özellikle İstanbul gibi hem Avrupa hem Asya hava sahasını birbirine bağlayan stratejik konumdaki şehirlerde UTM entegrasyonu, uluslararası iş birliği gerektirmektedir.

Hava koridoru tasarımında ise vertikal kat ayrımı modeli (layered airspace) benimsenmelidir: 0-150 metre arası insansız hava araçları (drone) için, 150-600 metre arası eVTOL ticari operasyonları için, 600 metre üzeri ise geleneksel havacılık trafiği için ayrılabilir. Bu katmanlı yapı, farklı araç tiplerinin aynı hava sahasında çakışmadan faaliyet göstermesine olanak tanır (Vascik & Hansman, 2018).

3.1.4. Hukuki Çerçeve ve Düzenleyici Öneriler

Mevcut Türk havacılık mevzuatı (SHY serileri), eVTOL araçlarının kentsel operasyonlarını doğrudan düzenlemeye yönelik hükümler içermemektedir. SHGM'nin 2022 yılında yayımladığı taslak düzenleme ise henüz operasyonel standartlar, sertifikasyon kriterleri ve sorumluluk rejimleri bakımından eksiklikler barındırmaktadır. Bu bağlamda, üç düzeyde hukuki reform önerilmektedir:

Ulusal Düzey: SHGM öncülüğünde, EASA'nın SC-VTOL ve E.Y013 standartlarıyla uyumlu bir eVTOL sertifikasyon yönetmeliği hazırlanmalıdır. Bu yönet-

melik; tip sertifikasyonu, operatör lisansı, pilot/otonom sistem yeterliliği ve bakım standartlarını kapsmalıdır. Ayrıca vertiport yapı ruhsatlandırması için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile ortak bir teknik şartname geliştirilmelidir.

Kentsel ve Yerel Düzey: Belediyeler, imar planlarında “hava ulaşım alanı” sınıflandırması oluşturarak vertiport inşaatına özel bir yapılaşma düzeni getirebilir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesinde UAM Pilot Bölge Yönetmeliği hazırlanması, bu alandaki öncü adımlardan biri olabilir.

Uluslararası Uyum Düzeyi: Türkiye'nin ICAO üyesi sıfatıyla, ICAO Annex 2 ve Annex 11'de yapılan UTM/UAM güncellemelerini iç hukuka aktarması gerekmektedir. AB ile sürdürülen havacılık mutabakat müzakereleri kapsamında U-Space regülasyonlarına (EU 2021/664, 665, 666) erişim imkânı araştırılmalıdır.

3.1.5. Anket Soruları ile Altyapı Perspektifinin İlişkilendirilmesi

Hakemin vurguladığı metodolojik tutarlılık gereksinimi doğrultusunda, yukarıda sunulan kavramsal ve teknik çerçeve anket sorularının tasarımında belirleyici bir işlev üstlenmelidir. Görüşme yapılacak katılımcılara (havacılık uzmanları, kentsel plancılar, karar alıcılar) öncelikle bu bölümde yer alan altyapı boyutlarına ilişkin kısa bir bilgilendirme özeti sunulmalı; ardından sorular bu bağlam üzerine inşa edilmelidir.

Örneğin:

- “İstanbul’da vertiport yerleşimi için öncelikli lokasyon olarak hangi bölgeleri önerirsiniz ve bu tercihinizin gerekçeleri nelerdir?”
- “eVTOL enerji talebini karşılamada yenilenebilir enerji entegrasyonu ne ölçüde uygulanabilir buluyorsunuz?”
- “Türkiye’de UTM sisteminin kurulumu için DHMİ’nin kurumsal kapasitesini yeterli buluyor musunuz?”
- “Mevcut SHGM mevzuatındaki en kritik düzenleme boşluğu sizce nedir?”

Bu yapılandırma, katılımcıların yeterli bağlamla değerlendirme yapmasını sağlayarak hakemin işaret ettiği metodolojik sorunu giderecektir.

3.2. Teknolojik Perspektif

Bu eksen, eVTOL araçlarının temelini oluşturan teknik boyutları detaylı bir şekilde ele almaktadır. Batarya teknolojilerinin kapasitesi, menzil kısıtlamaları, uçuş yazılımlarının karmaşıklığı, otonomi düzeyleri ve siber güvenlik riskleri gibi konular bu perspektif altında incelenmektedir (Lilium, 2023; Uber Elevate, 2023; Straubinger et al., 2020). Ayrıca, bu araçların performans, güvenilirlik ve emniyet standartlarını karşılaması için gerekli Ar-Ge faaliyetleri ve sertifikasyon süreçleri de bu başlık altında değerlendirilmektedir. Teknolojik ilerlemelerin UAM'ın yaygınlaşmasındaki rolü ve gelecekteki potansiyel gelişim alanları da bu perspektifin önemli bileşenleridir.

3.3. Hukuki Perspektif

eVTOL sistemlerinin güvenli ve etkin bir şekilde işletilebilmesi için mevcut ulusal ve uluslararası havacılık düzenlemelerinin gözden geçirilmesi ve yeni hukuki çerçevelerin oluşturulması gerekmektedir. Bu perspektif, hava sahası kullanımı, operasyonel lisanslandırma, sertifikasyon süreçleri, veri gizliliği ve sorumluluk gibi yasal konuları araştırmaktadır (ICAO, 2023; EASA, 2021; Riccobono et al., 2022). Özellikle, uluslararası standartların ulusal mevzuata nasıl entegre edileceği, sınır ötesi operasyonlar ve hukuki boşlukların belirlenmesi, bu perspektifin odak noktalarını oluşturmaktadır. Yasal belirsizlikler, UAM sektörünün büyümesinin önündeki önemli engellerden biri olarak kabul edilmektedir.

3.4. Kullanıcı Perspektifi

Bu eksen, eVTOL sistemlerinin toplumsal kabul düzeyi, kamuoyunun algısı, güvenlik ve konfor beklentileri ile kullanıcı davranışlarının UAM'ın başarısı üzerindeki etkisini incelemektedir (Patton, 2015; McKinsey & Company, 2022; Zhang et al., 2022). Gürültü kirliliği, mahremiyet endişeleri, erişilebilirlik ve maliyet gibi faktörler, potansiyel kullanıcıların eVTOL'e yönelik tutumlarını belirlemede kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, UAM'ın sosyal adalet ve kentsel eşitsizlikler üzerindeki potansiyel etkileri de bu perspektif altında değerlendirilerek, kapsayıcı bir ulaşım sisteminin nasıl oluşturulabileceği tartışılmaktadır. Kullanıcıların güvenini kazanmak ve UAM'ı yaygın bir ulaşım aracı haline getirmek için sosyal kabulün önemi yadsınamazdır. Yukarıda detaylandırılan bu çerçeve bağlamında, bu araştırma, eVTOL teknolojilerinin çok disiplinli bir yaklaşımla ele alınmasını önermekte; yal-

nızca mühendislik ya da havacılık eksenli bir sistem olarak değil, aynı zamanda sosyo-tekniik bir sistem olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Çoklu perspektif yaklaşımı (multi-perspective evaluation) (Mingers & Brocklesby, 1997), bu araştırmanın temelini oluşturmakta ve eVTOL sistemlerinin Türkiye gibi dinamik kentsel bağlamlardaki uygulanabilirliğine yönelik kapsamlı ve bütüncül bir analiz zemini sağlamaktadır. Bu sayede, geleceğin kent içi ulaşımını şekillendirecek eVTOL teknolojilerinin potansiyel faydaları ve karşılaşılabileceği zorluklar daha derinlemesine anlaşılabilir.

4. Yöntem

Bu araştırmada, elektrikli dikey kalkış ve iniş yapabilen hava araçlarının (electric Vertical Take-Off and Landing, eVTOL) şehir içi ulaşım sistemlerine entegrasyonunun çok boyutlu doğasını anlamak amacıyla nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım, sadece olguları tanımlamakla kalmayıp aynı zamanda ilgili paydaşların deneyimlerini, algılarını ve beklentilerini derinlemesine keşfetmeye odaklanmaktadır. Araştırma yöntemi olarak, karmaşık bir konunun farklı yönlerini kapsamlı biçimde tasvir etmeye imkân tanıyan betimsel nitel araştırma yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, eVTOL entegrasyon sürecinin mevcut durumunu, karşılaşılan zorlukları ve gelecekteki potansiyellerini hem bireysel hem de sistemsel düzeyde ayrıntılı olarak ortaya koymak için uygun bir çerçeve sunmaktadır.

Veri toplama sürecinde, konuyla ilgili en güncel ve kapsamlı bilgilere ulaşmak amacıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler kullanılmıştır. Bu görüşme formatı, katılımcıların deneyimlerini kendi ifadeleriyle aktarmalarına olanak tanıırken araştırmacının da belirlenen ana temalar etrafında odaklanmasını sağlamaktadır. Görüşmeler, havacılık sektörünün farklı kollarından ve bu yeni teknolojinin potansiyel etkileşim alanlarından seçilen uzmanlarla gerçekleştirilmiştir. Katılımcı havuzu, araştırmanın dört temel perspektifini; hukuki, teknolojik, hava trafik yönetimi ve kullanıcı kabulü açısından temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Bu doğrultuda; hukuki düzenlemeler konusunda bilgi sahibi hukukçular, teknolojik gelişmeler alanında uzman mühendisler, Hava Trafik Kontrolü (Air Traffic Control, ATC) sistemleriyle entegrasyon konusunda deneyimli hava trafik kontrolörleri ve apron personeli ile potansiyel kullanıcı kabulüne ilişkin içgörü sağlayabilecek bireyler amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Bu strateji, konunun farklı boyutlarına ilişkin zengin ve çeşitli görüşlerin elde edilmesini güvence altına almaktadır.

Bu araştırmada elde edilen nitel verilerin analizinde MAXQDA yazılımı tercih edilmiştir. MAXQDA'nın seçilmesinde, nitel veri analizinde sağladığı sistematik kodlama imkânı, hiyerarşik tema oluşturma yeteneği ve gelişmiş görselleştirme araçları belirleyici olmuştur. Ayrıca, MAXQDA yazılımı kod birlikteliği (co-occurrence) analizleri ile temalar arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasına imkân tanımaktadır. Alternatif nitel veri analiz yazılımları olan NVivo ve ATLAS.ti ile karşılaştırıldığında, MAXQDA'nın kullanıcı dostu ara yüzü, daha kısa öğrenme süresi ve karma yöntem araştırmalarına uygun yapısı nedeniyle tercih edildiği değerlendirilmektedir. Özellikle kod ilişkileri tarayıcısı ve görsel analiz araçları, araştırmacının bulgularının daha sistematik ve anlaşılır şekilde sunulmasına katkı sağlamıştır. Bu nedenle MAXQDA, çalışmanın metodolojik güvenilirliğini artıran ve analiz sürecinin şeffaflığını destekleyen uygun bir analiz aracı olarak değerlendirilmiştir.

Veri analizi sürecinde, görüşmelerden elde edilen metinler dikkatle okunmuş; önemli ifadeler ve paragraflar belirlenerek kodlanmıştır. Bu kodlar, eVTOL entegrasyonunun farklı boyutlarını temsil eden kavramsal etiketler işlevi görmüştür. Ardından kodlar arasındaki ortaklıklar ve farklılıklar tespit edilerek araştırmanın temel sorularına yanıt verecek biçimde tematik analiz yöntemiyle bir araya getirilmiştir. Tematik analiz, veri setindeki tekrar eden örüntüleri ve ana fikirleri ortaya çıkararak her bir perspektifin derinlemesine incelenmesine ve perspektifler arasındaki ilişkilerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Araştırma sürecinin bütünü boyunca katılımcıların gizliliği ve verilerin korunması titizlikle gözetilerek etik ilkelere tam uyum sağlanmıştır. Tüm bu tercihler, araştırmacının bulgularının bilimselliğini, güvenilirliğini ve geçerliliğini destekler niteliktedir.

4.1. Akış Şeması



Şekil 1. Araştırma Süreci Akış Şeması

Kaynak: Yazarlar tarafından geliştirilmiştir.

4.2. Veri Toplama Araçları ve Görüşme Temaları

Araştırmada veri toplama süreci, her bir paydaş grubunun (mühendislik, hukuk, hava trafik yönetimi ve kullanıcılar) uzmanlık alanına özgü hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formları aracılığıyla yürütülmüştür. Görüşme formları; katılımcıların demografik özelliklerini, eVTOL teknolojisine dair öz-bilgi düzeylerini ve araştırmanın temel sorunsallarını kapsayan dört ana temadan oluşmaktadır. Görüşmelerde kullanılan tematik çerçeve ve örnek sorular Tablo 2’de detaylandırılmıştır:

Tablo 2. eVTOL Araçlarına İlişkin Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu

No	Alan	Soru
1	Cinsiyet	—
2	Yaş	—
3	Eğitim Durumu	—
4	Meslek	—
5	Mesleki Tecrübe Yılı	—
No	Araştırma Konusu	Soru
1	Hava Trafik Sistemleri ile Entegrasyon	eVTOL araçlarla ilgili bilgi düzeyinizi 1 ile 10 arasında puanlayabilir misiniz?
2		eVTOL araçlarının geleneksel uçaklar ile aynı hava sahasında güvenli bir şekilde seyahat edebilmesi için gerekli düzenlemeler sizce nelerdir?
3		eVTOL'ların otonom uçuş sistemleri hava trafik yönetimi ile nasıl koordineli bir şekilde çalışacak ve bu süreçte insan müdahalesinin rolü ne olacak?
4		Eğer eVTOL araçları popüler hale gelirse, kullanmayı düşünür müsünüz?
No	Araştırma Konusu	Soru
1	Kullanıcı Kabulü ve Güvenlik Algısı	eVTOL araçlarla ilgili bilgi düzeyinizi 1 ile 10 arasında puanlayabilir misiniz?
2		eVTOL araçlar ile yolculuğu emniyetli buluyor musunuz?
3		eVTOL araçlarının uçuş emniyetine dair endişeleriniz nelerdir? (Örneğin, sistem arızaları, pilot eksikliği, hava koşulları vb.)
4		Eğer eVTOL araçları popüler hale gelirse, kullanmayı düşünür müsünüz?
No	Araştırma Konusu	Soru
1	Yasal Boşluklar ve Hukuki Reformlar	eVTOL araçlarla ilgili bilgi düzeyinizi 1 ile 10 arasında puanlayabilir misiniz?
2		eVTOL araçları için mevcut havacılık yasalarının yeterli olduğunu düşünüyor musunuz, yoksa yeni düzenlemelere ihtiyaç var mı?
3		eVTOL araçlar için uluslararası hava taşımacılığı standartları oluşturulmalı mı, yoksa her ülke kendi düzenlemelerini mi belirlemeli?
4		Eğer eVTOL araçları popüler hale gelirse, kullanmayı düşünür müsünüz?
No	Araştırma Konusu	Soru

1	Teknolojik Gelişim ve Mühendislik Zorlukları	eVTOL araçlarla ilgili bilgi düzeyinizi 1 ile 10 arasında puanlayabilir misiniz?
2		eVTOL araçlarında kullanılan elektrikli motorlar, enerji verimliliği açısından geleneksel motor teknolojilerine göre hangi avantajları ve sınırlamaları sunmaktadır?
3		eVTOL'ların uzun menzilli uçuşlarını desteklemek için mevcut batarya teknolojileri ne ölçüde yeterlidir ve batarya kapasitelerinin artırılması için hangi teknolojik gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır?
4		Eğer eVTOL araçları popüler hale gelirse, kullanmayı düşünür müsünüz?

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu tablo, eVTOL (Elektrikli Dikey Kalkınma ve İniş) araçlarına yönelik dört farklı araştırma konusu; hava trafik sistemleriyle entegrasyon, kullanıcı kabulü ve güvenlik algısı, yasal biçimler ve hukuki reformlar ile teknolojik gelişim ve mühendislik karmaşıklığı biçimiyle ele almak amacıyla geliştirilmiş yarı hazırlanmış soruları içerir. Katılımcıların demografik bilgileriyle birlikte araştırma konusuna özgü sorulara verdikleri yanıtlar, nitel veri analizi yöntemiyle değerlendirilmektedir.

5. Bulgular

Araştırmanın örneklemini, bir havaalanında görev yapan 10 hava trafik kontrolörü, 10 elektronik mühendisi, 10 uçak mühendisi/mühendis, 10 apron memuru/memur ve 10 avukat olmak üzere toplam 50 katılımcı oluşturmaktadır. Araştırma etiği prensiplerine bağlı kalınarak katılımcıların kişisel verilerinin gizliliği temin edilmiştir. Bu doğrultuda katılımcılara "Katılımcı 1, Katılımcı 2..." şeklinde tanımlayıcı kodlar atanmıştır. Katılımcılara ait demografik bilgiler ve eVTOL araçlarına ilişkin bilgi düzeyleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Evtol Araçlarına İlişkin Bilgi Düzeyi

KATILIMCI	CİNSİYET	YAŞ	EĞİTİM	ALANI	eVTOL Bilgi Düzeyi
Katılımcı 1	Erkek	29	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	7
Katılımcı 2	Erkek	28	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	6
Katılımcı 3	Erkek	49	Yüksek Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	8
Katılımcı 4	Kadın	39	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	2
Katılımcı 5	Erkek	31	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	6
Katılımcı 6	Kadın	33	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	5
Katılımcı 7	Erkek	30	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	7
Katılımcı 8	Kadın	35	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	4
Katılımcı 9	Erkek	32	Yüksek Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	6
Katılımcı 10	Kadın	36	Lisans	Hava Trafik Kontrolörü	3
Katılımcı 11	Erkek	32	Lisans	Elektronik Mühendisi	7
Katılımcı 12	Erkek	34	Lisans	Elektronik Mühendisi	8
Katılımcı 13	Erkek	33	Lisans	Elektronik Mühendisi	6
Katılımcı 14	Kadın	31	Lisans	Elektronik Mühendisi	7
Katılımcı 15	Erkek	35	Lisans	Elektronik Mühendisi	8
Katılımcı 16	Erkek	36	Lisans	Elektronik Mühendisi	7
Katılımcı 17	Kadın	30	Lisans	Elektronik Mühendisi	6
Katılımcı 18	Erkek	32	Lisans	Elektronik Mühendisi	8
Katılımcı 19	Kadın	33	Lisans	Elektronik Mühendisi	7
Katılımcı 20	Erkek	34	Lisans	Elektronik Mühendisi	6
Katılımcı 21	Erkek	40	Lisans	Uçak Mühendisi	5
Katılımcı 22	Erkek	32	Yüksek Lisans	Mühendis	8
Katılımcı 23	Erkek	38	Lisans	Uçak Mühendisi	6
Katılımcı 24	Kadın	35	Lisans	Mühendis	7
Katılımcı 25	Erkek	41	Lisans	Uçak Mühendisi	5
Katılımcı 26	Kadın	33	Lisans	Mühendis	6
Katılımcı 27	Erkek	39	Lisans	Uçak Mühendisi	5
Katılımcı 28	Kadın	36	Lisans	Mühendis	7
Katılımcı 29	Erkek	37	Lisans	Uçak Mühendisi	6
Katılımcı 30	Kadın	34	Lisans	Mühendis	6
Katılımcı 31	Kadın	32	Lisans	Memur	3
Katılımcı 32	Erkek	49	Lisans	Apron Memuru	5

Katılımcı 33	Erkek	38	Lisans	Apron Memuru	4
Katılımcı 34	Erkek	35	Lisans	Apron Memuru	5
Katılımcı 35	Kadın	33	Lisans	Memur	3
Katılımcı 36	Erkek	36	Lisans	Apron Memuru	4
Katılımcı 37	Kadın	34	Lisans	Memur	4
Katılımcı 38	Erkek	37	Lisans	Apron Memuru	5
Katılımcı 39	Kadın	35	Lisans	Memur	3
Katılımcı 40	Erkek	36	Lisans	Apron Memuru	5
Katılımcı 41	Kadın	34	Lisans	Avukat	5
Katılımcı 42	Erkek	32	Lisans	Avukat	4
Katılımcı 43	Kadın	35	Lisans	Avukat	5
Katılımcı 44	Erkek	33	Lisans	Avukat	4
Katılımcı 45	Kadın	34	Lisans	Avukat	5
Katılımcı 46	Erkek	36	Lisans	Avukat	5
Katılımcı 47	Kadın	32	Lisans	Avukat	4
Katılımcı 48	Erkek	33	Lisans	Avukat	5
Katılımcı 49	Kadın	31	Lisans	Avukat	4
Katılımcı 50	Erkek	34	Lisans	Avukat	5

Katılımcılardan eVTOL araçlarına ilişkin bilgi düzeylerini 1 (Çok Düşük) ile 10 (Çok Yüksek) arasında puanlamaları istenmiştir. Meslek gruplarına göre hesaplanan aritmetik ortalamalar Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Mesleklere Göre eVTOL Bilgi Düzeyi

MEVCUT MESLEĞİ	e VTOL Bilgi Seviyesi
Apron Memuru	4,7
Avukat	4,5
Hava Trafik Kontrolörü	5,0
Memur	3,0
Mühendis	7,0

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturuldu.

Katılımcıların mesleki profillerine dayalı olarak yapılan analiz, eVTOL araçlarına ilişkin farkındalık düzeylerinin, icra edilen mesleğe göre istatistiksel olarak

anamlı bir değişkenlik sergilediğini ortaya koymuştur. Toplanan veriler ışığında, mühendislik disiplininden gelen katılımcılar (Ortalama = 7,0 puan) en yüksek bilgi seviyesine sahip grup olarak tespit edilmiştir. Bu sonucun, mühendislerin teknolojiye olan mesleki yakınlıkları, teknik literatürü takip etme eğilimleri ve sektörel yeniliklere olan aşinalıkları ile açıklanması mümkündür.

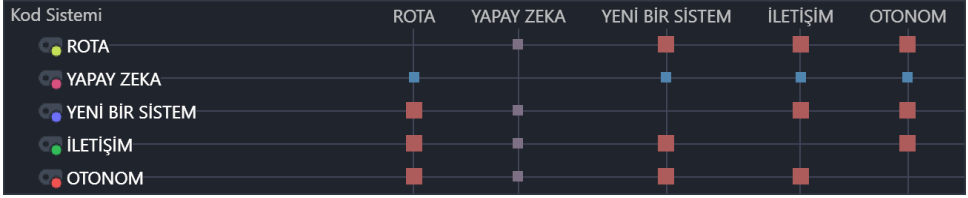
Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC), ortalama 5,0 puan ile eVTOL teknolojisi konusundaki bilgi düzeyinde ikinci sırada konumlanmıştır. Bu bulgu, Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personelinin hava sahası yönetimi ve hava araçları operasyonlarındaki mesleki deneyimlerinin, söz konusu yeni teknolojiye yönelik farkındalıklarını pozitif yönde etkilediğine işaret etmektedir. Apron memurları (Ortalama = 4,7 puan) ve avukatlar (Ortalama = 4,5 puan) ise daha düşük ve birbirine yakın bilgi seviyeleri sergilemiştir. Bu durum, teknik içeriğe daha az maruz kalan meslek gruplarının, yeni nesil ulaşım teknolojilerine dair görece kısıtlı bir anlayışa sahip olduğunu göstermektedir.

Diğer yandan, kamu sektöründe görevli memur katılımcıların bilgi düzeyi ortalaması (3,0 puan), çalışmadaki en düşük değerini temsil etmektedir. Bu sonuç, teknolojik yeniliklere dair bilgi edinme seviyesinin mesleki uzmanlığa bağlı olduğunu ve teknik altyapıdan uzak gruplarda bu seviyenin yetersiz kalabildiğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla bu bulgular, eVTOL gibi ileri teknolojilerin toplumsal kabulünü teşvik etmek amacıyla meslek gruplarına özgü bilgilendirme ve eğitim stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğinin altını çizmektedir.

Araştırmadan elde edilen veriler, eVTOL teknolojilerinin kentsel mobilite için devrim niteliğinde bir potansiyel barındırmasına karşın, bu potansiyelin tam olarak gerçekleştirilmesinin önünde çok yönlü engeller bulunduğunu da göstermektedir. Görüşmelerden elde edilen nitel bulgular, katılımcıların eVTOL sistemlerini değerlendirirken teknik yeterlilik, hava sahası altyapı gereksinimleri, yasal düzenleme eksiklikleri (mevzuat boşlukları) ve toplumsal kabul gibi çeşitli sorun alanlarına odaklandığını göstermiştir. Katılımcılar, sistemin güvenli ve verimli bir operasyonu için altyapısal yeniden yapılanmanın, teknolojik standartların netleştirilmesinin ve mevcut yasal çerçevenin güncellenmesinin zorunlu olduğunu ifade etmişlerdir. Ek olarak, potansiyel kullanıcılar nezdinde gözlemlenen düşük farkındalık seviyesi, toplumsal kabul sürecinin de stratejik bir planlamaya ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, eVTOL sistemlerinin uygulanabilirliğini (fizibilitesini) irdelemek üzere dört temel perspektif ekseninde detaylı analizler yürütülmüştür.

5.1. e VTOL Araç Alt Yapı Perspektife (Hava Trafik Sistemi Entegrasyonu) Açısından Değerlendirmesi

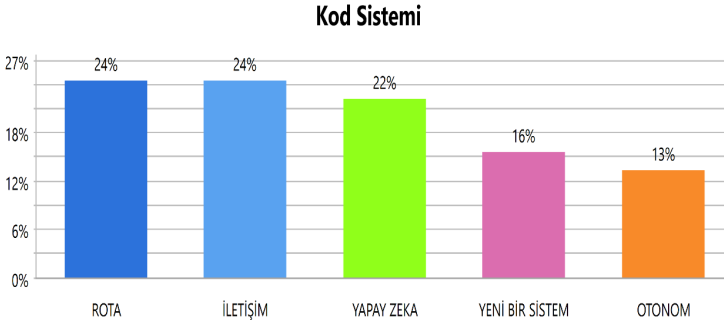
Araştırmadan elde edilen veriler, eVTOL teknolojilerinin şehir içi ulaşımda devrim niteliğinde bir potansiyel taşımasına rağmen, bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçirilmesinde çok boyutlu engellerin bulunduğunu göstermektedir. Görüşmelerden elde edilen bulgular, katılımcıların eVTOL sistemlerine yönelik değerlendirmelerinde teknik yeterlilik, hava sahası altyapısı, mevzuat eksiklikleri ve toplumsal kabule ilişkin çeşitli sorun alanlarını vurguladıklarını ortaya koymuştur. Özellikle sistemin güvenli ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için altyapının yeniden yapılandırılması, teknolojik standartların netleştirilmesi ve hukuki düzenlemelerin güncellenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca, potansiyel kullanıcıların bu yeni teknolojiye yönelik bilgi düzeylerinin düşük olması, toplumsal kabul sürecinin de stratejik bir planlamaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, eVTOL sistemlerinin uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere dört temel perspektif altında detaylı analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Alt Yapı Perspektife Kod İlişkileri Tarayıcısı

Nitel veri analizinde uygulanan kod birlikteliği (co-occurrence) analizi, belirli temalar arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin varlığını ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre; "Rota ve Yapay Zekâ" ($f=3$) ile "Yapay Zekâ ile Yeni Bir Sistem" ($f=3$) kodları arasında ve ayrıca "İletişim ile Otonom" ($f=4$), "Otonom ile İletişim" ($f=4$) ve "Yeni Bir Sistem ile İletişim" ($f=4$) kod çiftleri arasında yüksek frekanslı birliktelikler saptanmıştır. Katılımcıların eVTOL entegrasyonunu hangi faktörler bağlamında değerlendirdiğini gösteren kod ilişkileri haritası, otonom operasyonlar, pilot-hava trafik kontrolörü iletişim protokolleri, yeni bir sistemin tesisi, yapay zekâ desteği ve uçuş rotalarının tanımlanması gibi değişkenler arasında güçlü bir kavramsal ağın mevcut olduğunu göstermektedir. Özellikle "yapay zekâ" ve "yeni bir sistem" kodlarının birlikte sıkça zikredilmesi, mevcut

sistemlerin bu yeni teknoloji için yetersiz kalacağı yönündeki baskın görüşü yansıtmaktadır. Bu durum, katılımcıların, yapay zekâ temelli yeni bir altyapının geliştirilmesini bir gereklilik olarak algıladıklarına işaret etmektedir. Sonuç olarak bu bulgular, eVTOL araçlarının mevcut hava sahasına güvenli ve etkin entegrasyonu için; pilot ile Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) arasındaki iletişimi güvence altına alan, otonom kabiliyetleri destekleyen, net olarak tanımlanmış rotalara sahip ve yapay zekâ tarafından yönetilen yeni bir sistemin kurulmasının zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır.

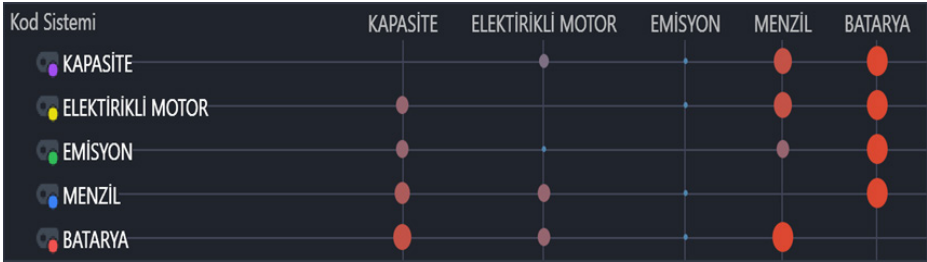


Grafik 1. Alt Yapı Perspektif Kod Frekans Analizi

Grafik 1, MAXQDA yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen ve altyapı perspektifine odaklanan kod bazlı frekans analizinin sonuçlarını sunmaktadır. Bu analiz, yalnızca hava trafik kontrolörlerinden Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) alınan yanıtlar üzerinde yürütülmüş olup, katılımcıların cevaplarında belirli temalara atfettikleri önceliğin (vurgu düzeyinin) sıklık dağılımını göstermektedir. Analiz sonuçları, kodların kullanım frekansları açısından belirgin bir farklılaşma olduğunu ortaya koymaktadır. Verilere göre, katılımcıların %24'ü "Rota ve İletişim" kodunu kullanırken, "Yapay Zekâ" kodu %22, "Yeni Bir Sistem" kodu %16 ve "Otonom" kodu %13 oranında tespit edilmiştir. Bu frekans dağılımı, eVTOL araçlarının hava trafik sistemlerine entegrasyonu bağlamında, Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personelinin görüşlerine göre, uçuş rotalarının net bir şekilde tanımlanmasının ve operasyonel moddan (otonom veya pilotlu) bağımsız olarak, hava trafik kontrolü ile kesintisiz ve güvenilir bir iletişim altyapısının tesis edilmesinin en kritik unsurlar olarak öne çıktığını vurgulamaktadır.

5.2. eVTOL Araçlarının Teknolojik Perspektiften İncelenmesi

eVTOL sistemlerinin teknolojik altyapı perspektifinden değerlendirilmesi amacıyla, alanında uzmanlık sahibi mühendisler ile mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Nitel veri analiz yazılımı olan MAXQDA programı kullanılarak, bu görüşmelerden elde edilen kodların frekans analizi (sıklık analizi) yapılmış ve ulaşılan sonuçlar Şekil 2’de sunulmuştur. Bu analiz, araştırmaya iştirak eden mühendislerin yanıtlarında vurguladıkları temel faktörleri incelemeye odaklanmıştır. Altyapıya ilişkin değerlendirmeler, eVTOL sistemlerinin mevcut hava sahası düzenleriyle uyumlu hale gelmesinin gerekliliğini ortaya koyarken, teknolojik gelişmelerin bu entegrasyonun temelini oluşturduğunu da göstermektedir. Katılımcılar, sistemlerin operasyonel güvenliği ve verimliliği için batarya kapasitesi, otonom sürüş sistemleri ve motor performansı gibi teknik unsurların kritik rol oynadığını vurgulamıştır. Bu doğrultuda, teknolojik gelişmelerin mevcut sınırlılıkları aşması, eVTOL araçlarının kent içi ulaşımında yaygınlaşması için ön koşul olarak görülmektedir.

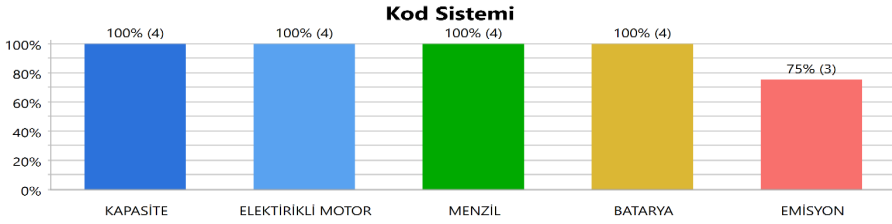


Şekil 3. Teknolojik Perspektife Kod İlişkileri Tarayıcısı

Nitel veri analizinden elde edilen kod birlikteliği (co-occurrence) frekansları incelendiğinde; “Kapasite ve Menzil” kod çiftinin 28 kez, “Kapasite ve Batarya” kod çiftinin 32 kez, “Kapasite ve Emisyon” kod çiftinin 16 kez, “Kapasite ve Elektrikli Motor” kod çiftinin 20 kez, “Elektrikli Motor ve Menzil” kod çiftinin 23 kez, “Elektrikli Motor ve Batarya” kod çiftinin 26 kez ve “Menzil ve Batarya” kod çiftinin 34 kez tekrarlanmış olduğu tespit edilmiştir.

Kod ilişkileri tarayıcısı aracılığıyla yapılan bu analiz, katılımcıların (mühendislerin) eVTOL araçlarının teknolojik ilerlemesini hangi faktörlere atfettiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bulgular, özellikle “Batarya”, “Menzil” ve “K kapasite” kavramları arasında güçlü bir kavramsal ilinti olduğunu göstermektedir.

“Batarya” ve “Menzil” kodlarının bu denli yüksek bir sıklıkta tekrarlanmış olması, eVTOL araçlarının teknolojik gelişimi için batarya teknolojisindeki ilerlemelerin merkezi ve kritik bir rol oynadığına işaret etmektedir. Bu durum, batarya performansındaki iyileştirmelerin, doğrudan menzil ve kapasite artışını da beraberinde getireceği şeklinde yorumlanmıştır. Dolayısıyla bu veriler, eVTOL araçlarının operasyonel verimliliğini ve uygulanabilirliğini artırmak için öncelikli olarak batarya teknolojileri, menzil kabiliyetleri ve taşıma kapasiteleri üzerinde daha fazla teknolojik iyileştirme yapılması gerektiğinin altını çizmektedir.



Grafik 2. Teknolojik Perspektif Kod Bazlı Frekans Sistemi

Grafik 2, MAXQDA yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen ve araştırmaya katılan mühendislerin yanıtlarına dayanan kod bazlı frekans analizinin bulgularını sunmaktadır. Analiz sonuçları, belirli kodların kullanım oranlarını (frekans dağılımını) göstermektedir. Bulgulara göre, katılımcı mühendislerin tamamı (%100) “Kapasite”, “Elektrikli Motor”, “Menzil” ve “Batarya” kodlarını kullanırken; %75’i ise “Emisyon” kodunu zikretmiştir. Bu dağılım, mühendislerin eVTOL araçlarını teknolojik perspektiften değerlendirirken, araç kapasitesi, operasyonel menzil uzunluğu ve batarya kapasitesi gibi faktörlere birincil derecede önem atfettiklerini ortaya koymaktadır. Analizden elde edilen en mühim sonuç, katılımcıların kendi uzmanlık (ihtisas) alanlarındaki bilgi birikimlerine dayanarak yaptıkları değerlendirmelerde; eVTOL teknolojisinin önündeki en kritik zorlukların (veya iyileştirme alanlarının) sırasıyla uçuş menzilin kısıtlılığı, batarya teknolojisinin yetersizliği ve mevcut taşıma kapasitesinin artırılması gerekliliği olduğunu vurgulamalarıdır.

5.3. E-VTOL Araç Hukuk Perspektif Açısından Değerlendirme

eVTOL araçlarının hukuki perspektiften incelenmesi amacıyla yürütülen görüşmelerden elde edilen nitel veriler, MAXQDA yazılımı kullanılarak analiz edil-

miştir. Bu analiz sürecinde, metin içinde kullanılan kodların sıklığı (frekansı) tespit edilmiş ve kod ilişkileri tarayıcısı vasıtasıyla bu kodlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.



Şekil 4. Hukuk Perspektif Kod İlişkileri Tarayıcısı

Kod ilişkileri tarayıcısı (veya kod birlikteliği analizi) kullanılarak yürütülen analizde, katılımcıların hangi kodları ne derecede bir sıklıkla (frekansla) eş zamanlı olarak kullandıkları, yani bu kodların birlikte geçiş (co-occurrence) oranları incelenmiştir. “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” kodu ile “Altyapı ve Operasyonel Hukuki Süreçler” kodu 20 kez, “Uluslararası Standartlar ve Uyum” ve “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” 18 kez, “Hukuki Düzenleme İhtiyacı” ve “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” kodu 19 kez, Uluslararası Standartlar ve Uyum” ve Altyapı ve Operasyonel Hukuki Süreçler” 22 kez birlikte kullanılmıştır. Analiz, “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” ile “Altyapı ve Operasyonel Hukuki Süreçler” kodları arasında bir birliktelik (co-occurrence) olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, katılımcıların güvenlik mülahazalarını ve altyapıya yönelik yasal süreçleri birbirine sıkı sıkıya bağlı olarak algıladıklarını göstermektedir. eVTOL gibi yenilikçi sistemlerin gerektirdiği yeni altyapıların, beraberinde kullanıcı haklarını ve güvenliğini teminat altına alacak spesifik hukuki düzenlemelere olan ihtiyacı da gündeme getirdiği vurgulanmaktadır. “Uluslararası Standartlar ve Uyum” ile “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” kodları arasında 18 kez tekrarlanan güçlü bir birliktelik saptanmıştır. Bu durum, güvenlik konularının yalnızca ulusal mevzuatla sınırlı kalmayıp, uluslararası standartlarla da entegre bir biçimde ele alınması gerektiğine yönelik güçlü bir algıyı yansıtmaktadır. Nitekim katılımcılar, kullanıcı hakları ve güvenliğinin teminat altına alınabilmesi için uluslararası normların belirlenmesinin ve bu normlara uyumun bir zorunluluk olduğunu ifade etmişlerdir. Buna ek olarak, “Hukuki Düzenleme İhtiyacı” ile “Güvenlik ve Kullanıcı Hakları” kodları arasında da eş zamanlı bir kullanım tespit edilmiştir. Bu sonuç, katılımcıların mevcut yasal çerçevenin güvenlik ve kullanıcı hakları perspektifinden yetersiz kaldığı yönündeki algısını teyit etmekte ve eVTOL operasyonlarına spesifik yeni hukuki düzenlemelere olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Son olarak, “Uluslararası Standartlar ve Uyum” kodu

ile “Altyapı ve Operasyonel Hukuki Süreçler” kodları arasında 22 kez birliktelik gözlemlenmiştir. Bu yüksek frekanslı ilişki, altyapı kurulumuna ve operasyonel süreçlere yönelik yasal düzenlemelerin, yerel ihtiyaçların ötesinde, küresel standartlarla harmonize edilmesi (uyumlaştırılması) gerektiğine dair ortak bir kanaatin varlığını ortaya koymaktadır.

5.4. e VTOL Araçların Kullanıcı Perspektif Açısından Değerlendirilmesi

eVTOL teknolojilerinin başarıyla entegre edilebilmesi yalnızca altyapı ve yasal düzenlemelere değil, aynı zamanda toplumun bu sistemlere olan güvenine ve kabulüne de bağlıdır. Araştırma bulguları, potansiyel kullanıcıların eVTOL araçlarına dair bilgi düzeylerinin düşük olduğunu ve algılarında belirsizlik bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, kullanıcı deneyimi, güvenlik algısı, konfor beklentisi ve ekonomik erişilebilirlik gibi unsurların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu araştırma kapsamında, eVTOL araçlarına yönelik kullanıcı algıları ile bu teknolojiye ilişkin endişe ve beklentiler, nitel görüşme metodolojisi kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 5. Kullanıcı Perspektif Kod İlişkileri Tarayıcıları

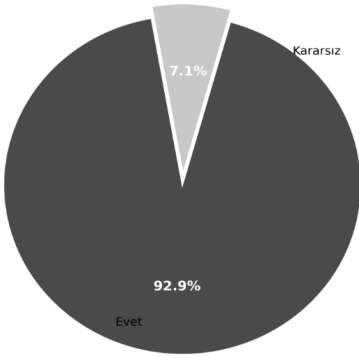
Kullanıcı perspektifine odaklanan analizler kapsamında, katılımcılardan elde edilen nitel veriler MAXQDA programı aracılığıyla kodlama sistemine tabi tutulmuştur. Bu analiz neticesinde, en yüksek frekansa sahip olan kodların “Güvenlik Algısı,” “Alt Yapı,” “Otonom Sistem” ve “Uçuş Emniyeti” olduğu saptanmıştır. Kod birlikteliği (co-occurrence) analizi, bu temalar arasında güçlü ilişki örneklerinin varlığını göstermiştir: “Güvenlik Algısı” ile “Alt Yapı” kodları 25 kez, “Güvenlik Algısı” ile “Otonom Sistem” kodları 20 kez, “Güvenlik Algısı” ile “Uçuş Emniyeti” kodları 25 kez ve “Uçuş Emniyeti” ile “Otonom Sistem” kodları 19 kez eş zamanlı olarak tespit edilmiştir.

MAXQDA ile yürütülen kod ilişki analizi, katılımcıların ifadelerinde spesifik temaların yüksek sıklıkta birlikte geçtiğini doğrulamıştır. “Güvenlik Algısı” temasının, diğer tüm ana kodlarla yüksek düzeyde bir birliktelik sergileyerek merkezi bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Özellikle, “Güvenlik Algısı ve Altyapı” ile “Güvenlik Algısı ve Uçuş Emniyeti” kod çiftlerinin (her biri $f=25$) yüksek frekansı, kullanıcıların teknolojiye yönelik güvenlik değerlendirmelerini öncelikli olarak fiziksel altyapının mevcudiyeti ve uçuş sisteminin güvenilirliği (reliability) temelinde yaptıklarına işaret etmektedir. Benzer şekilde, “Güvenlik Algısı ve Otonom Sistem” ($f=20$) ile “Uçuş Emniyeti ve Otonom Sistem” ($f=19$) kodlarının eş zamanlı kullanımı da dikkat çekicidir. Bu bulgular, kullanıcıların otonom sistemlere yönelik çekincelerinin (güven endişelerinin) yalnızca yazılımsal risklerle sınırlı olmadığını; bu çekincelerin, uçuş güvenliği ve altyapısal yeterlilik algılarıyla da güçlü bir biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, eVTOL araçlarına yönelik kullanıcı kabulünü (toplumsal kabulü) teşvik etmek için, sadece teknik emniyetin sağlanmasının yeterli olmayacağı; bununla paralel olarak, altyapısal güven duygusunun da tesis edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

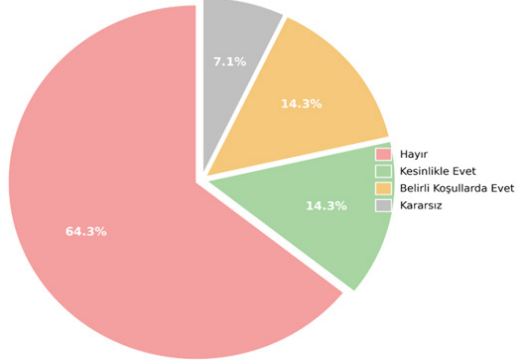
5.5. Kullanıcıların eVTOL Teknolojisine Yönelik Kabul Düzeyi

Yarı yapılandırılmış görüşmeler sırasında katılımcılara yöneltilen “eVTOL araçları popüler hale gelirse kullanmayı düşünür müsünüz?” ve “İlk kullanıcılarından olur musunuz?” şeklindeki sorular, bireylerin bu yenilikçi ulaşım teknolojisine yönelik kabul düzeylerini ve tutumlarını analiz etmek adına önemli veriler sağlamıştır. Katılımcıların önemli bir çoğunluğu, eVTOL araçlarının yaygınlaşması ve güvenlik standartlarının tam olarak tesis edilmesi koşuluyla, bu teknolojiyi kullanmaya prensipte olumlu yaklaştıklarını beyan etmiştir. Bununla birlikte, “ilk kullanıcı” olma (erken adaptasyon) konusunda belirgin bir çekingenlik gözlemlenmiştir. Katılımcıların bu isteksizliğinin temelinde; teknolojinin henüz test aşamasında olması, potansiyel sistem arızası ihtimalleri ve özellikle otonom kontrol sistemlerine yönelik güvensizlik gibi faktörler yatmaktadır. Kullanıcıların teknolojiyi benimsemek için öncelikle sistemin emniyetli, kararlı (stabil) ve erişilebilir olduğuna dair kolektif bir toplumsal güvenin oluşmasını bekledikleri anlaşılmaktadır. Bu bulgu, eVTOL araçlarının pazara giriş stratejilerinin, salt teknik yeterliliğin ötesinde, kamuoyunu bilgilendirme ve aktif bir güven inşa etme sürecini de kritik bir bileşen olarak içermesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Katılımcıların bu sorulara verdikleri yanıtların oransal bir analizi Grafik 3 ve Grafik 4’te sunulmuştur.

eVTOL Kullanım Eğilimleri (Siyah-Beyaz)



Grafik 3: Kullanıcıların eVTOL kullanmayı düşünme oranı



Grafik4. İlk Kullanıcı Olma Durumu

Yapılan kullanıcı değerlendirmelerine dayalı olarak oluşturulan Grafik 3, katılımcıların büyük çoğunluğunun (%92,9) eVTOL araçlarını kullanmayı düşündüğünü ortaya koymaktadır. Katılımcıların yalnızca %7,1'i bu konuda kararsız olduğunu belirtmiş; hiçbir katılımcı "hayır" yanıtını vermemiştir. Bu durum, eVTOL teknolojisinin şehir içi ulaşımda önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve genel kabul düzeyinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, "ilk kullanıcı olma" konusuna ilişkin değerlendirmeler, genel kabul düzeyine kıyasla daha temkinli bir tutumun benimsendiğini ortaya koymaktadır. Grafik 4'te görüldüğü üzere katılımcıların yalnızca %14,3'ü ilk kullanıcı olma konusunda gönüllü olduğunu belirtirken; %14,3'ü belirli şartlar altında bu durumu kabul edebileceğini ifade etmiş, %64,3'lük büyük bir kesim ise bu teknolojiye ilk uyum sağlayan olmak istemediğini belirtmiştir. Bu bulgular, kullanıcıların eVTOL sistemine genel olarak olumlu baktıklarını ancak güvenlik, teknik olgunluk ve kullanım deneyimi gibi faktörler nedeniyle ilk kullanıcı olma konusunda çekimser davrandıklarını göstermektedir. Dolayısıyla bu sonuçlar, eVTOL teknolojisinin şehir içi entegrasyonu sürecinde kullanıcı güveninin artırılmasına yönelik stratejik iletişim, deneme uygulamaları ve toplumsal bilgilendirme çalışmalarının önemini vurgulamaktadır.

5.6. e VTOL Araçlara İlişkin Risk Analizi

Tablo 5. Risk Analizi

Risk	Olasılık	Etki	Skor (1-9)	Öncelik Düzeyi
Otonom sistem hataları	Yüksek	Yüksek	9	Yüksek+
Altyapı/radar eksikliği	Yüksek	Orta	6	Yüksek
Yasal düzenleme yetersizliği	Orta	Yüksek	6	Yüksek
Batarya ve menzil yetersizliği	Orta	Orta	4	Orta
Siber saldırı ve yazılım hatası	Düşük	Yüksek	3	Orta
Toplumsal kabul düşüklüğü	Yüksek	Düşük	3	Düşük

Bu çalışma bünyesinde geliştirilen risk matrisi, eVTOL araçlarının kentsel hava ulaşımına entegrasyonu esnasında ortaya çıkması muhtemel temel riskleri saptamak hedefiyle, 14 katılımcıyla gerçekleştirilen nitel görüşmeler temel alınarak yapılandırılmıştır. Mülakatlar, dört farklı paydaş grubunun (hava trafik kontrolörleri, hukukçular, mühendisler ve potansiyel kullanıcılar) perspektiflerini yansıtacak şekilde icra edilmiştir. Toplanan nitel veriler tematik analiz yöntemiyle işlenmiş ve katılımcı ifadeleri temelinde altı ana risk teması belirlenmiştir: Otonom sistem güvenilirliği, altyapı ve radar takibi, yasal düzenleme eksikliği, batarya ve menzil sınırlamaları, siber güvenlik açıkları ve toplumsal kabuldeki çekinceler. ISO 31000 standardı doğrultusunda klasik risk yönetimi metodolojisi uygulanarak, her bir risk için olasılık-etki çarpan skoru (1-9 aralığında) hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, riskin görüşmelerdeki dile getirilme sıklığı (olasılık) ve ifade edilen potansiyel tesirinin büyüklüğü (etki) esas alınmıştır. Elde edilen skorlar, renk kodlamasıyla (çok yüksek, yüksek, orta, düşük) görsel bir öncelik düzeyine dönüştürülerek sınıflandırılmış ve böylece risklerin yönetimsel öncelik sıralaması tesis edilmiştir. Bu yöntemle oluşturulan matris, kullanıcı odaklı ve bağlamsal bir değerlendirme niteliği taşımaktadır. Araştırma bulguları, eVTOL araçlarının kentsel ulaşım sistemlerine entegrasyonunun salt teknik yeterlilikle sınırlandırılmayacağını; hukuki

düzenlemeler, hava trafik yönetimi, mühendislik altyapısı ve kullanıcı kabulü gibi çok boyutlu faktörlerin koordineli (eşgüdümlü) bir biçimde ele alınması zorunluluğunu göstermektedir. Toplanan veriler, mevcut literatürdeki bulgularla önemli ölçüde paralellik gösterse de Türkiye bağlamı için özgün değerlendirmeler içermektedir. Bilhassa hukuki perspektiften elde edilen bulgular, Garrow et al. (2021) ile Yan et al. (2024) tarafından yürütülen çalışmalarda da altı çizilen regülasyon eksikliğini teyit eder niteliktedir. Katılımcılar, mevcut sivil havacılık mevzuatının eVTOL benzeri yeni nesil hava araçlarını kapsamakta yetersiz kaldığını; kentsel uçuş operasyonları, lisanslama, sigortacılık ve hukuki sorumluluk gibi alanlarda ciddi yasal boşluklar (düzenleme açıkları) bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bu tespit, ulusal seviyede yeni bir hukuki altyapının tesis edilmesinin yanı sıra, uluslararası standartlarla da uyumlu (harmonize) olacak çok katmanlı bir regülasyon sisteminin geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Hava trafik kontrolü açısından yapılan değerlendirmeler, mevcut hava sahası yönetiminin, eVTOL'lerin dinamik ve yoğun şehir içi operasyonlarını desteklemek için yetersiz olduğunu göstermektedir. Literatürde sıklıkla dile getirilen hava sahası segmentasyonu, UTM sistemleri ve Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personelinin yeniden eğitimi gibi konular, bu çalışmada da öncelikli sorun alanları olarak öne çıkmıştır. Özellikle vertical-horizantal hava sahası planlaması ve otonom sistemlerin kontrol yapıları konusunda belirsizliklerin olduğu tespit edilmiştir. Teknik boyutta ise eVTOL sistemlerinin yalnızca bir ulaşım aracı olmaktan öte, şehir altyapısıyla bütünleşmiş bir mobilite ağı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Katılımcılar, enerji verimliliği, batarya yönetimi, gürültü kontrolü, hava koşullarına dayanıklılık ve bakım altyapısı gibi çok sayıda teknik unsurun sistemin sürdürülebilirliği açısından kritik rol oynadığını vurgulamıştır. Bu bulgular, mevcut mühendislik literatürüyle uyumlu olmakla birlikte, şehir planlaması ile teknik entegrasyon arasındaki koordinasyon eksikliğine dikkat çekmektedir. Kullanıcı perspektifine ilişkin bulgular ise, teknolojik kabullenmenin sadece sistemin fonksiyonelliğine değil, aynı zamanda duygusal güven, ekonomik erişilebilirlik ve sosyal algı gibi faktörlere de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Teknolojik sıklıkla göz ardı edilen bu yön, bu çalışmada ön plana çıkarılmış ve teknolojik inovasyonların toplumsal kabulde desteklenmeden yaygınlaştırılmayacağı vurgulanmıştır. Özellikle güvenlik, otonom sistemlere duyulan şüphe ve ilk kullanıcı olma endişesi, toplumsal kabulün önündeki temel engeller olarak tespit edilmiştir. Genel olarak, bu bulgular göstermektedir ki eVTOL teknolojisi, yalnızca teknik değil; aynı zamanda sosyal, hukuki ve yönetsel bağlamlarda da çok aktörlü, çok düzlemli ve dinamik bir dönüşüm süreci

rülebilirlik" ve "İletişim" gibi destekleyici unsurlarla birlikte, eVTOL entegrasyonunun teknolojik inovasyon, yasal çerçeve ve toplumsal kabul sacayağı üzerinde yükselen bütüncül bir ekosistem olduğunu kanıtlamaktadır.

6. Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular, eVTOL araçlarının kentsel hava mobilitesine entegrasyonunun çok boyutlu bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Aşağıda bulgular, ilgili literatürle karşılaştırmalı olarak ele alınmakta ve her bir perspektife ilişkin çıkarımlar değerlendirilmektedir. Bu çalışmada elde edilen hukuki bulgular, mevcut havacılık mevzuatının eVTOL araçlarını tam anlamıyla kapsamadığını ve kentsel hava sahasının kullanımı, pilotaj lisanslandırması, sigorta ile hukuki sorumluluk gibi alanlarda ciddi yasal boşluklar bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Garrow vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmayla doğrudan örtüşmektedir; söz konusu çalışmada da mevcut havacılık düzenlemelerinin geleneksel sabit kanatlı uçaklar ve helikopterler için tasarlandığı, eVTOL araçlarının benzersiz operasyonel özellikleri nedeniyle bu çerçeveye uyumsuzluk sergilediği vurgulanmaktadır. Benzer biçimde Thipphavong vd. (2018) de kentsel hava mobilitesine yönelik düzenleyici çerçevelerin yeniden yapılandırılması gerektiğine dikkat çekmektedir. Katılımcıların uluslararası standartların harmonizasyonuna verdiği önem ise Straubinger vd. (2020) ile Kopardekar et al. (2016) tarafından da ele alınmıştır. Bu çalışmalar, parçalı ulusal düzenlemelerin hem üreticiler hem de sınır ötesi operasyonlar açısından pratik güçlükler yaratabileceğini ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmadan elde edilen bulgular bu tespiti teyit etmekte ve Türkiye özelinde de bütüncül, dinamik ve teknolojik gelişmelere uyum sağlayabilir bir regülasyon çerçevesine duyulan ihtiyacı somutlaştırmaktadır.

Hava trafik kontrolörlerinden elde edilen bulgular, mevcut ATC sistemlerinin eVTOL operasyonlarının gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalabileceğini; "Rota ve İletişim" (%24) ile "Yapay Zekâ" (%22) kodlarının öne çıktığını göstermektedir. Bu sonuç, Kopardekar et al. (2016) tarafından geliştirilen Kentsel Hava Mobilite (UAM) çerçevesiyle uyum içindedir; söz konusu çalışma, artan hava aracı yoğunluğunun yönetilmesi için otomasyon ve yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin zorunlu hale geleceğini öngörmektedir.

Bunun yanı sıra EUROCONTROL (2021) tarafından yürütülen araştırmalar, yapay zekâ destekli Hava Trafik Yönetimi (AI-ATM) sistemlerinin özellikle düşük

irtifa kentsel operasyonlarında geleneksel manuel koordinasyonun yerini alabileceğini göstermektedir. Mevcut çalışmada katılımcıların “Yapay Zekâ ile Yeni Bir Sistem” kod çiftinin yüksek birliktelik göstermesi, bu öngörüğü sahadan elde edilen nitel kanıtlarla destekler niteliktedir. FAA (2020) da benzer bir yaklaşımla, Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) çerçevesinde otonom sistemlerin Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) süreçlerine entegrasyonunun kaçınılmaz olduğunu belirtmektedir. Türkiye bağlamında ise bu entegrasyonun yalnızca teknik araçlarla değil, Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personelinin yeniden eğitimi ve hava sahası mimarisinin dikey-yatay olarak yeniden yapılandırılmasıyla desteklenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Kullanıcı perspektifine ilişkin bulgular, katılımcıların %92,9’unun eVTOL araçlarını kullanmayı düşündüğünü; ancak %64,3’ünün ilk kullanıcı olmak istemediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Palacín et al. (2021) ve Weiss et al. (2022) tarafından da raporlanan erken benimseme isteksizliğiyle örtüşmektedir. Söz konusu çalışmalar, yeni ulaşım teknolojilerinde güvenlik belirsizliği ve teknoloji hakkındaki yetersiz bilginin benimseme oranını doğrudan kısıtladığını göstermektedir. Kod birlikteliği analizinde “Güvenlik Algısı” temasının diğer tüm ana kodlarla yüksek birliktelik sergilemesi kullanıcıların teknolojiyi değerlendirirken öncelikli olarak güvenlik ekseninde düşündüklerini ortaya koymaktadır. Ajzen (1991) tarafından geliştirilen Planlı Davranış Teorisi çerçevesinden bakıldığında, bu bulgu tutarlıdır: Bireylerin davranışsal niyeti, algılanan güvenlik ve kontrol düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Bazı katılımcıların eVTOL hizmetlerinin başlangıçta yalnızca üst gelir gruplarına hitap edeceğine ilişkin kaygıları ise Straubinger vd. (2020) tarafından da dile getirilen sosyo-ekonomik erişilebilirlik sorunuyla paralellik göstermektedir. Bu durum, kullanıcı kabulünün pazarlama faaliyetlerinin ötesinde, politika geliştirme ve kentsel planlama düzeyinde de stratejik olarak yönetilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Mühendis katılımcıların tamamının “Kapasite”, “Elektrikli Motor”, “Menzil” ve “Batarya” kodlarını kullanması ve “Menzil ve Batarya” kod çiftinin en yüksek birlikteliğe ulaşması, batarya teknolojisinin eVTOL sistemlerinin gelişimindeki merkezi rolüne işaret etmektedir. Bu bulgu, mevcut literatürde de güçlü bir biçimde desteklenmektedir. Brelje and Martins (2019), batarya enerji yoğunluğunun artırılmasının eVTOL araçlarının operasyonel menzilini doğrudan belirleyen kritik parametre olduğunu vurgulamaktadır. Sahne et al. (2021) ise mevcut lityum-iyon teknolojisinin kısa mesafeli kentsel uçuşlar için yeterli olsa da uzun menzilli operasyonlar için solid-state batarya teknolojileri gibi yeni nesil çözümlere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Katılımcıların %75'inin "Emisyon" kodunu kullanması da dikkat çekicidir. Bu bulgu, eVTOL araçlarının çevresel sürdürülebilirlik potansiyelinin mühendisler tarafından da önemli bir değerlendirme kriteri olarak ele alındığını göstermektedir. Nitekim Kasliwal vd. (2019), eVTOL araçlarının geleneksel karayolu araçlarına kıyasla daha düşük karbon ayak izi oluşturabileceğini; ancak bu avantajın büyük ölçüde kullanılan elektrik enerjisinin kaynağına bağlı olduğunu belirtmektedir.

Risk analizi sonuçları, "Otonom sistem hataları" faktörünün en yüksek risk skoru (9) aldığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, otonom sistemlerin havacılıkta güvenilirlik ve sertifikasyon süreçleri açısından hâlâ en kritik belirsizlik alanı olmaya devam ettiğine dair literatürdeki genel kaniyle uyumludur (Dalamağkidis et al., 2012). "Altyapı/radar eksikliği" ve "Yasal düzenleme yetersizliği" faktörlerinin eşit risk skoru (6) alması ise teknik ve hukuki boyutların birbiriyle eşit ağırlıkta ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Toplumsal kabul düşüklüğü faktörünün düşük risk skoru (3) alması ilk bakışta olumlu görünse de bu bulgunun temkinli yorumlanması gerekmektedir. Zira toplumsal kabulün düşük skor alması, bu riskin önemsiz olduğunu değil; etkisinin görece sınırlı ancak olasılığının yüksek olduğunu yansıtmaktadır. Nitekim kullanıcı kabul bulgularında ilk kullanıcı olmaya yönelik yüksek çekingenlik (%64,3) bu okumayı destekler niteliktedir.

Bu araştırmanın çok boyutlu bulguları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, eVTOL teknolojisinin kentsel ulaşım entegrasyonunun salt teknik bir mesele olmadığı açıkça görülmektedir. Hukuki, yönetsel, sosyal ve mühendislik boyutlarının eşgüdümlü biçimde ele alınması gerekmektedir. Bu çalışmanın, dört farklı paydaş perspektifini aynı anda değerlendirmesi bakımından mevcut literatürden ayrıştığı ve Türkiye bağlamı için özgün bulgular sunduğu değerlendirilmektedir. Özellikle yapay zekâ destekli Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) sistemlerine yönelik baskın talep, regülasyon harmonizasyonu gerekliliği ve kullanıcı güven inşasının stratejik önemi, bu çalışmanın literatüre katkı sağlayan temel çıktıları arasında yer almaktadır.

7. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, elektrikli dikey kalkış ve iniş yapabilen hava araçlarının (eVTOL) gelişiminin hava trafik kontrol sistemi, kullanıcı perspektifi, teknolojik perspektifi ve hukuki düzenlemeler açısından çok boyutlu olarak değerlendirilmesidir.

dirilmesidir. Çalışmada, eVTOL teknolojisinin kent içi hava mobilitesi kapsamında mevcut havacılık sistemine entegrasyonu incelenerek, operasyonel, altyapısal ve düzenleyici boyutlarda ortaya çıkabilecek fırsatlar ve zorluklar analiz edilmektedir. Bu bağlamda çalışma, eVTOL sistemlerinin hava trafik yönetimi, kullanıcı kabulü ve hukuki çerçeve açısından oluşturabileceği etkileri bütüncül bir yaklaşımla ele almayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın literatürden farkı, literatürde eVTOL ve kentsel hava mobilitesi üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmı teknolojik gelişmeler, mühendislik tasarımı veya operasyonel performans üzerine yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte mevcut çalışmaların büyük bölümü konuyu tek bir perspektiften ele almaktadır. Bu çalışma ise eVTOL sistemlerini yalnızca teknolojik veya operasyonel açıdan değil; teknolojik, hava trafik kontrol sistemleri, kullanıcı perspektifi ve hukuki düzenlemeler olmak üzere dört farklı boyutta birlikte değerlendirmesi bakımından literatüre katkı sağlamaktadır. Ayrıca çalışma, eVTOL teknolojisinin mevcut havacılık ekosistemine entegrasyonu sürecinde ortaya çıkabilecek düzenleyici ve operasyonel gereksinimlere ilişkin bütüncül bir analiz sunarak literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Bu çalışma, eVTOL (elektrikli dikey kalkış ve iniş) araçlarının kentsel ulaşım ağlarına entegrasyonunu çok paydaşlı bir bakış açısıyla ele almaktadır. Araştırma metodolojisi, farklı profesyonel disiplinlerden (meslek gruplarından) katılımcılarla yürütülen nitel mülakatlara dayanmaktadır. Elde edilen bulgular, eVTOL entegrasyonunun salt teknik bir fizibilite meselesi olmadığını; bunun ötesinde, güçlü bir yasal altyapı, elverişli altyapısal koşullar, yeniden yapılandırılmış hava sahası regülasyonları ve sağlam bir kullanıcı güveni tarafından desteklenmesi gereken çok katmanlı (kompleks) bir transformasyonu gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu transformasyon sürecinde, analiz edilen her bir paydaş perspektifinin kendine has gereksinimleri ve kaygıları olduğu saptanmıştır. Hukuki açıdan yapılan irdelemeler, eVTOL araçlarının mevcut havacılık mevzuatı tarafından tam olarak kapsanamadığını (yeterince düzenlenemediğini) göstermiştir. Katılımcıların büyük bir kısmı, mevcut yasal altyapının geleneksel sabit kanatlı uçaklar ve helikopterler gibi konvansiyonel hava araçları için tasarlandığını; buna karşın eVTOL araçlarının kentsel operasyonlar, dikey iniş-kalkış kabiliyetleri, elektrikli tahrik sistemleri ve otonom uçuş potansiyelleri gibi benzersiz nitelikleri sebebiyle mevcut regülasyonlarla uyumsuzluk sergilediğini ifade etmiştir. Bu bağlamda, kentsel hava sahasının kullanımı, pilotaj lisanslandırması, uçuş izni prosedürleri, hukuki sorumluluk ve sigorta yükümlülükleri gibi spesifik alanlarda ciddi

yasal boşluklar (mevzuat açıkları) bulunduğu altı çizilmiştir. Ayrıca, katılımcılar sadece yeni bir ulusal yasal çerçevenin değil, aynı zamanda uluslararası düzeyde harmonize edilmiş (ortak) standartların oluşturulmasının da bir zorunluluk olduğunu belirtmiştir. Zira, parçalı (fragmente) ve ülkelere özgü yerel düzenlemelerin hem uluslararası üreticiler hem de potansiyel sınır ötesi hava taşımacılığı operasyonları açısından pratik uygulamada çeşitli engellere neden olabileceği öngörülmektedir. Bu sebeple, eVTOL araçlarının hukuk sistemine entegrasyonu için çok katmanlı, dinamik ve teknolojik gelişmelere adaptasyon kabiliyeti yüksek bir regülasyon sürecinin tasarlanması elzemdir. Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) bakış açısıyla yapılan analizler, eVTOL araçlarının mevcut hava sahası mimarisine ve trafik yönetim sistemlerine entegrasyonunun, kompleks ve çok yönlü bir transformasyonu zorunlu kıldığını göstermektedir. Katılımcı Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) uzmanlarının beyanlarına göre, mevcut hava trafik yönetim prosedürleri, önceden tanımlı sabit güzergâhlar, spesifik frekans tahsisleri ve büyük ölçüde manuel koordinasyona dayalı bir operasyonel felsefe üzerine inşa edilmiştir. Buna karşın eVTOL araçları; bilhassa düşük irtifa operasyonları, yoğun kentsel bölgelerde faaliyet gösterme, otonom kontrol sistemleri ve çok sayıda kalkış/iniş noktası (vertiport) kullanımı gibi yeni dinamikleri beraberinde getirmektedir. Bu farklılık, mevcut sistemlerin eVTOL operasyonlarının gereksinimlerini karşılamada yetersiz kalabileceğine işaret etmektedir. İlaveten, eVTOL'lerin hava sahasında yaratacağı öngörülen trafik yoğunluğu artışı ve potansiyel çakışma senaryoları; güvenlik, haberleşme altyapısındaki yük ve gözetim kapasitesi bakımından Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personeli için ciddi riskler teşkil edebilir. Katılımcılar, bu yeni sistemin entegrasyonunun sadece teknik araçların adaptasyonu değil, aynı zamanda yeni hava sahası yapılandırmaları, yerel hava seyrüsefer yönetim otoriteleri ile tam koordinasyon ve Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) personeline yönelik spesifik eğitim programları ile de desteklenmesi zorunluluğunu vurgulamıştır. Özellikle, hava sahasının dikey (vertikal) ve yatay (horizontal) olarak yeniden segmente edilmesi, önceden tanımlanmış eVTOL koridorlarının oluşturulması ve uçuşa elverişlilik sertifikasyon süreçlerinin yeniden gözden geçirilmesi gerekliliği öne çıkmıştır. Sonuç olarak, eVTOL araçlarının kentsel hava trafiğine dahil edilebilmesi için sadece teknik adaptasyonların yapılması yeterli olmayıp, aynı zamanda Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) operasyon kültürünün ve hava sahası yönetim anlayışının da köklü bir yeniden yapılandırmaya tabi tutulması kaçınılmazdır. Mühendislik (teknik) perspektifinden elde edilen bulgular, eVTOL araçlarının kentsel ulaşım sistemleri-

ne entegrasyonunun, yalnızca tasarım ve imalat aşamalarıyla kısıtlı kalmadığını; aynı zamanda enerji altyapısı, yazılım güvenliği, araç dayanıklılığı ve mevcut kentsel altyapı ile uyumluluk gibi çok sayıda teknik parametreye bağlı bir süreç olduğunu göstermektedir. Katılımcı mühendisler, eVTOL sistemlerinin yapısal karmaşıklığına dikkat çekerek, bilhassa elektrikli tahrik (itki) sistemlerinin operasyonel güvenilirliği (reliability), batarya teknolojisinin kapasitesi, operasyonel menzil verimliliği ve ağırlık-denge yönetimi gibi hususların, sistemin sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, eVTOL araçlarının kentsel operasyonlar sırasında karşılaşması muhtemel teknik zorluklar arasında; gürültü emisyonlarının kontrolü, değişken hava koşullarına karşı dayanıklılık, acil durum senaryolarına yönelik sistemler ve bakım-onarım altyapı gereksinimleri de öne çıkmaktadır. Katılımcılar, bu araçların tam manasıyla entegre olabilmesi için kent içinde stratejik olarak konumlandırılmış vertiport (dikey liman) altyapısına, akıllı trafik yönetim sistemleriyle entegrasyona ve uzaktan yazılım güncelleme ile gözetim teknolojileri gibi destekleyici sistemlerin tesis edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Neticeten, teknik açıdan eVTOL teknolojisi muazzam bir potansiyel barındırır da bu potansiyelin realize edilebilmesi (gerçeğe dönüşebilmesi) için çok disiplinli mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi, şehir planlaması disipliniyle eşgüdüm sağlanması ve güvenilirlik odaklı test süreçlerinin işletilmesi temel belirleyiciler olarak görünmektedir. Kullanıcı perspektifinden elde edilen bulgular, eVTOL araçlarının toplumsal kabul sürecinde, teknik yeterlilik kadar kullanıcı güveni, hizmete erişilebilirlik ve algısal kabullenme faktörlerinin de tayin edici olduğunu göstermektedir. Mülakatlar sırasında katılımcıların büyük bir kısmı, eVTOL araçlarının barındırdığı potansiyelin farkında olduklarını; kentsel ulaşımında zaman tasarrufu, çevresel sürdürülebilirlik (düşük emisyon) ve yoğun trafikten kaçınma gibi avantajlarını teslim ettiklerini ifade etmiştir. Bu olumlu algıya rağmen, kullanıcıların önemli bir bölümü, henüz gelişim ve test aşamasında olan bu teknolojiyi kullanma konusunda temkinli bir duruş sergilemekte ve “erken benimseyen” olma konusunda belirgin bir isteksizlik göstermektedir. Bu isteksizliğin temelindeki ana motivasyon “güvenlik algısı” olarak öne çıkmaktadır. Katılımcılar, bilhassa otonom sistemlere yönelik mevcut güvensizlik, acil durum senaryolarında müdahale kapasitesine dair şüpheler, altyapının yeterliliği konusundaki belirsizlikler ve sigorta/hukuki sorumluluk mekanizmalarının netleşmemiş olmasının, kişisel kullanım kararı süreçlerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra, bazı katılımcılar eVTOL hizmetlerinin başlangıç aşamasında “lüks bir hizmet” segmentinde konumlanacağını ve bunun da mevcut sosyo-ekonomik eşitsizlikleri derinleştirebile-

çeğine dair endişelerini dile getirmiştir. Neticede, kullanıcılar nezdinde eVTOL teknolojisinin benimsenme oranının artması, sadece ulaşım kolaylığı vaadiyle değil; aynı zamanda duygusal güvenin tesis edildiği, teknolojik olarak sade ve anlaşılır, ekonomik açıdan erişilebilir ve şeffaf toplumsal bilgilendirme süreçleriyle desteklenen bir sistemin sunulmasıyla mümkün olabilecektir. Bu bulgular, kullanıcı kabulü meselesinin yalnızca bir pazarlama faaliyeti olarak değil, aynı zamanda politika geliştirme ve kentsel planlama düzeyinde de stratejik olarak yönetilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Bu araştırmanın ortaya koyduğu çok boyutlu bulgular, eVTOL teknolojisinin, salt bir mühendislik başarısının ötesinde; ancak hukuk, yönetim ve insan merkezli tasarım bakış açılarının tam bir eşgüdüm içinde geliştirilmesiyle sürdürülebilir bir ulaşım devrimine evrilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışma, eVTOL teknolojisinin gelişim sürecinin henüz erken aşamada olması nedeniyle büyük ölçüde mevcut literatür ve ikincil veri kaynaklarına dayanmaktadır. Bunun yanı sıra çalışma kapsamında operasyonel uygulamalara ilişkin kapsamlı saha verileri veya gerçek operasyon sonuçları bulunmamaktadır. Ayrıca kullanıcı perspektifine ilişkin değerlendirmeler sınırlı sayıda araştırma ve mevcut çalışmalar üzerinden yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen bulguların gelecekte gerçekleştirilecek uygulama temelli araştırmalarla desteklenmesi önem taşımaktadır.

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalar, eVTOL sistemlerinin operasyonel entegrasyonu ve yönetimi konusunda daha kapsamlı analizler sunabilir. Özellikle aşağıdaki araştırma alanlarının literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir:

- eVTOL araçlarının hava trafik yönetim sistemlerine entegrasyonu ve yeni Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control, ATC) operasyon modelleri.
- Kentsel hava mobilitesi için veriport planlaması ve şehir altyapısı gereksinimleri.
- eVTOL kullanımına yönelik kullanıcı kabulü, güvenlik algısı ve toplumsal farkındalık çalışmaları.
- eVTOL operasyonlarına ilişkin uluslararası ve ulusal hukuki düzenlemelerin geliştirilmesi.
- eVTOL sistemlerinin ekonomik sürdürülebilirliği ve iş modelleri
- Kentsel hava mobilitesinin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik boyutu.

Kaynakça

Abu Zaid, Abdullah et al. (2021), "eVTOL Communications and Networking in UAM: Requirements, Key Enablers, and Challenges", <https://arxiv.org/abs/2110.08830>, (Access: 15.03.2025).

Aktaş, Emre and Tarık Kılıç (2023), "Kentsel Hava Hareketliliği ve Türkiye'nin Ulaşım Politikaları Üzerine Bir Değerlendirme", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 312–329.

Antcliff, Kevin R. et al. (2016), "Considerations for Community Integration of Urban Air Mobility Operations", NASA Technical Report.

Arat, Mustafa and Sercan Kuzu (2022), "Yerli eVTOL Projelerinin Teknolojik Kapasitesi: CEZERİ Örneği", *Savunma ve Havacılık Dergisi*, 8(1), 45–59.

Arslan, Hasan (2022), "Kentsel Hava Taşımacılığı ve Çevresel Sürdürülebilirlik Perspektifi", *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 18–33.

Bauranov, Aleksandar and Jasenka Rakas (2021), "Designing Airspace for Urban Air Mobility: A Review of Concepts and Approaches", *Progress in Aerospace Sciences*, 125, 100726.

Baykar (2022), *CEZERİ Uçan Araba Teknik Raporu*, İstanbul: Baykar Savunma Yayınları.

Cardoso-Junior, Marcelo M. et al. (2022), "Safety Analysis of eVTOL Landing in Urban Centers: A System-Theoretic Process Approach", *Proceedings of the 32nd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2022)*, Research Publishing, 3374–3375, https://doi.org/10.3850/978-981-18-5183-4_J03-03-024-cd, (Access: 15.03.2025).

Çelik, Nuri (2024), "Kentsel Hava Taşımacılığı Kabul ve Kullanım Modeli: Bir Ölçek Geliştirme Çalışması", *Havacılık ve Yönetim Dergisi*, 3(1), 25–41.

Çınar, Kemal and Hüseyin Tuncal (2023), "Türkiye'de Urban Air Mobility (UAM): Toplumsal Kabul ve Potansiyel Algılar Üzerine Nitel Bir Değerlendirme", *Türk Hava Ulaştırması ve Mobilite Dergisi*, 5(2), 45–64, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/thumd/issue/78962/1312553>, (Access: 15.03.2025).

Demir, Ahmet (2021), "Elektrikli Dikey Kalkış ve İniş Araçlarının Batarya Sistemleri Üzerine Bir Analiz", Master's Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Demirtaş, Fatih and Emre Yıldız (2022), "Akıllı Ulaşım Sistemleri Kapsamında eVTOL Teknolojisinin Şehir İçi Entegrasyonu: Türkiye'de Uygulama Potansiyeli", *Ulaştırma ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 9(3), 75–92, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2731982>, (Access: 15.03.2025).

Ertürk, Mehmet C. et al. (2020), "Requirements and Technologies Towards UAM: Communication, Navigation, and Surveillance", <https://arxiv.org/abs/2004.12555>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2020), "Special Condition for VTOL Aircraft", <https://www.easa.europa.eu>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2021a), "Introduction of Urban Air Mobility in the European Airspace", <https://www.easa.europa.eu>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2021b), "Study on the Societal Acceptance of Urban Air Mobility in Europe", <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2022), "eVTOL Safety Framework", <https://www.easa.europa.eu>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2023), "Safety and Regulation of eVTOL", <https://www.easa.europa.eu/en/domains/urban-air-mobility>, (Access: 15.03.2025).

European Union Aviation Safety Agency (2024), "EASA Guidelines for VTOL Aircraft", <https://www.easa.europa.eu>, (Access: 15.03.2025).

FAA (2022), "Motorlu Kaldırma Uçağı için Özel Sınıf Uçuşa Elverişlilik Kriterleri", <https://www.faa.gov>, (Access: 15.03.2025).

FAA (2023), "Concept of Operations for UAS Traffic Management (UTM)", <https://www.faa.gov>, (Access: 15.03.2025).

FAA (2024), "FAA Publishes Final Rule for Pilots and Instructors to Fly eVTOL", <https://mundogeo.com/en/2024/10/23/faa-publishes-final-rule-for-pilots-and-instructors-to-fly-evtol>, (Access: 15.03.2025).

Frost & Sullivan (2023), "The Role of Vertiports in the Future of Urban Air Mobility", *Transport Industry Insights*.

Fu, Mengqiu, Rainer Rothfeld and Constantinos Antoniou (2019), "Exploring Preferences for Transportation Modes in Emerging Urban Air Mobility", *Transportation Research Part C*, 102, 476–496.

Fu, Mengqiu et al. (2022), "Urban Air Mobility Planning in Asian Megacities: A Systems Approach", *Journal of Air Transport Management*, 104, 102310.

Garrow, Laurie A., Mahmoud Ilbeigi and Christopher Chen (2021), "Future Scenarios for Urban Air Mobility: Regulatory, Safety, and Economic Implications", *Transportation Research Part A*, 148, 240–258.

Gündoğdu, Barış (2023), "eVTOL Aerodinamik Performans Optimizasyonu Üzerine Deneysel Bir Çalışma", *Uçak ve Uzay Bilimleri Dergisi*, 6(2), 77–90.

Holden, Jeff and Nikhil Goel (2016), "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", Uber Elevate White Paper.

İleri, Mehmet (2023), "Hava Taşımacılığında Değişen İş Modelleri: UAM'in Ekonomik Etkileri", Ulaştırma Ekonomisi Dergisi, 5(3), 202–217.

Karadayı, Ali and Hakan Aksu (2021), "eVTOL Araçların Türkiye Kent Ulaşım Sistemlerine Entegre Edilebilirliğine Yönelik Stratejik Analiz", Kentsel Araştırmalar ve Planlama Dergisi, 3(1), 31–48, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1783659>, (Access: 15.03.2025).

Kasliwal, Akshat, Matthew C. O'Kelly and Susan A. Shaheen (2019), "Role of Flying Cars in Sustainable Mobility", Nature Communications, 10(1), 1555.

Kaya, Zeynep (2021), "Kentsel Hava Hareketliliğinin Yönetişim Boyutu Üzerine Bir İnceleme", Kent ve Ulaşım Çalışmaları Dergisi, 2(1), 10–22.

Kellermann, Rainer, Philipp Proff and Annette Schöttle (2021), "Aerial Mobility in Smart Cities: Balancing Technology and Sustainability", Sustainability, 13(4), 2158.

Lee, Daeyeon, Sangwon Park and Jaehwan Kim (2022), "Consumer Intention over Upcoming Utopia: Urban Air Mobility", Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 13, 100568.

Lotinga, Matthew J. B. et al. (2023), "Noise from Unconventional Aircraft: A Review of Current Measurement Techniques, Psychoacoustics, Metrics and Regulation", Environmental and Sustainability Reviews, 5(3), 123–145, <https://doi.org/10.1007/s40726-023-00285-4>, (Access: 15.03.2025).

Mekdad, Yassine et al. (2021), "A Survey on Security and Privacy Issues of UAVs", <https://arxiv.org/abs/2109.14442>, (Access: 15.03.2025).

Nieman, James O. (2025), "Preparing the Skyways: A National Framework for eVTOL Vertiport Infrastructure", Advanced Mobility Review, 12(1), 33–54.

Özdemir, Yusuf (2024), "Türkiye Sivil Havacılık Mevzuatında Urban Air Mobility (UAM) Sistemlerinin Yeri: Regülasyon Boşlukları ve Uluslararası Uyumluluk Sorunu", Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 17(1), 112–136, <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduhfd/issue/88795/1560332>, (Access: 15.03.2025).

Öztürk, Deniz (2022), "Türkiye'de eVTOL Araçlarının Toplumsal Kabulmesi Üzerine Bir Değerlendirme", Havacılık Araştırmaları Dergisi, 9(1), 85–103.

Pak, Hyeonsoo et al. (2023), "Can Urban Air Mobility Become Reality? Opportunities, Challenges and Selected Research Results", <https://arxiv.org/abs/2309.12680>, (Access: 15.03.2025).

Rajendran, Sridhar and Jonathan Zack (2019), "Battery Technologies and Performance Optimization for eVTOL Systems", Aerospace Science and Technology, 92, 105288.

Roche-Cerasi, Isabelle (2019), "Public Perception of Urban Air Mobility: Opportunities and Challenges", Urban Transport Conference Proceedings, 45–58.

SHGM (2022), Kentsel Hava Hareketliliği Mevzuat Taslağı, Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü.

Straubinger, Anna, Rainer Rothfeld and Constantinos Antoniou (2020), "An Overview of Current Research on Urban Air Mobility – Setting the Scene for Future Studies", Journal of Air Transport Management, 87, 101852.

Thipphavong, David P. et al. (2018), "Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations", 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Atlanta, Georgia, <https://doi.org/10.2514/6.2018-3676>, (Access: 15.03.2025).

TUSAŞ (2021), UAM ve Yerli eVTOL Geliştirme Strateji Belgesi, Ankara: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii Yayınları.

Wolff, Franziska and Ulrich Frank (2005), "A Multi-Perspective Framework for Evaluating Conceptual Models in Organisational Change", Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems (ECIS), Regensburg, Germany.

Xu, Xiaoqing and Zhipeng Zhang (2023), "Fast Charging Systems for Electric Aircraft: Challenges and Progress", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 145, 111049, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111049>, (Access: 15.03.2025).

Yan, Yuxin, Shuai Luo and Fei Li (2024), "Communication, Navigation, Surveillance Requirements for eVTOL in Urban Air Mobility", MDPI Urban Aviation, 8(4), 218, <https://doi.org/10.3390/2413-8851/8/4/218>, (Access: 15.03.2025).

Yıldız, Berkan (2022), "Türkiye Hava Sahası için Simülasyon Tabanlı eVTOL Entegrasyon Modeli", Master's Thesis, Hacettepe Üniversitesi.

Zhang, Jian and Weige Li (2019), "Battery Management System and SOC Development for Electrical Aviation Applications", Journal of Power Sources, 442, 227166, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227166>, (Access: 15.03.2025).

Zhang, Yujia and Sungwook Kwon (2021), "An Assessment of Current Marketing Strategies of Urban Air Mobility", Journal of Aviation Management, 7(2), 55–72.