

VERİ MADENCİLİĞİ VE HAVACILIKTAĞI UYGULAMALARI: BUGÜNE VE GELECEĞE KISA BİR BAKIŐ

Sinem KAHVECİOĐLU¹

¹Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzak Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, skahvecioglu@anadolu.edu.tr

DOI: [10.23890/SUHAD.2018.0101](https://doi.org/10.23890/SUHAD.2018.0101)

ÖZET

İçinde yaşadığımız çağda, hayatımızın her alanına giren teknolojiler sayesinde, her gün çok büyük miktarda sayısal veri üretilmektedir. Bu büyük verinin hem depolanması hem de analizi, yeni araçlara ve tekniklere ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu açılardan ele alındığında, veri madenciliği farklı tipte veri havuzlarına uygulanabilmesi, her türlü veriyi uygun yöntemlerle işleyebilmesi, geçmiş davranışlardan geleceğe yönelik çıkarımlar yapılmasını sağlayabilmesi gibi özellikleri sayesinde çok farklı sektörlerde ve disiplinlerde kullanılabilir. Gerek operasyonel (havaalanı, havayolu, hava trafiği, vb.) gerekse teknik konular (uçak sistemleri, bakım, kaza/olay incelemeleri, vb.) açısından bakıldığında havacılık sektörü de veri madenciliğinin çok farklı konularda uygulanabileceği büyük bir veri havuzu sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, öncelikle yakın bir geçmiş içinde veri madenciliğinin havacılık alanındaki uygulamalarını ve bu uygulamaların çeşitliliğini incelemektir. Sonuç olarak ise havacılık alanında veri madenciliği ve büyük veri analizi çalışmalarının yoğunlaştığı ve keşfedilmeye açık alanların bir değerlendirmesi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri madenciliği, büyük veri, havacılık

DATA MINING AND ITS APPLICATIONS TO AVIATION: A BRIEF LOOK AT THE PRESENT AND FUTURE

ABSTRACT

In the era we live in, thanks to the technologies that enter every field of our lives, digital data are produced in great quantities every day. Both the storage and analysing issues of this large data increase the need for new tools and techniques. With these points of view, because its features, such as being applicable to different types of data repositories, able to process all kinds of data with appropriate methods and able to predict future from past behavior, data mining can be applied in many different sectors and disciplines. Aviation sector also offers a huge data pool where data mining can be implemented in many different ways, both in terms of operational (airport, airline, air traffic, etc.) and technical issues (aircraft systems, maintenance, accident/incident investigations, etc.). The aim of this study is primarily, to examine the data mining applications and the diversity of these in aviation. As a result, an assesment of on which fields data mining and large data analysis works are concentrated and open areas of discovery with the standpoint of data mining in aviaition.

Keywords: Data mining, big data, aviation

1. GİRİŐ

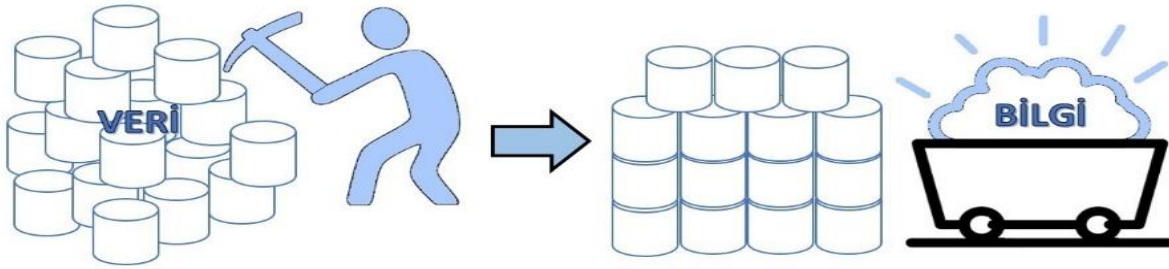
Her ne kadar günümüz için yapılan en popüler ve sık kullanılan tariflerinden biri “bilgi çağında yaşamak” olsa da aslen içinde yaşadığımız çağ “veri çağı” olarak tanımlanabilir. Büyük bir hızla gelişen teknolojiye paralel olarak, giderek daha da dijitalleşen dünya, çeşitli kaynaklardan sürekli veri üretme ve toplama kabiliyetimizi de devamlı geliştirmektedir. Günümüzde sistemler ve insanlarla ilgili muazzam miktarda veri hayatın her alanında yayılmış durumdadır. Dijital dünyayı kullandığımız her gün bankalar, sağlık sektörü, ulaşım ve taşımacılık sektörü vb. iş dünyasında yer alan tüm alanlarda telekomünikasyon ağları, internet arama motorları, her türlü sosyal medya uygulamalarının da desteği sayesinde terabaytlar ya da petabaytlar seviyesinde veri bilgisayar ağları ile bu dünyaya eklenmektedir. Böyle büyük bir verinin (big data) ortaya çıkması, hem depolama hem de bu havuz içinden yararlı veriyi alarak bilgiye dönüştürme açısından yeni araçlara ve hızlı tekniklere ihtiyacı da sürekli arttırmaktadır. Yeni tekniklerden beklenen, artan bu verilerin karışık bir havuzdan ayıklanıp gruplandırılmasına ilave olarak, kolayca işlenebilir hale de getirilebilmesidir. Veri madenciliği (data mining) de bu ihtiyaç karşısında ortaya çıkan, oldukça işlevsel olan ve birçok alanda başvuru bir tekniktir. Sürekli büyüyen ve güncellenen bir veri havuzu içine, belirli bir amaca yönelik işlem yaparken bu verileri ayıklama kabiliyeti, veri madenciliğinin önemini arttırmaktadır.

Verilere kısa sürede ulaşım onları işleyerek büyük bir zaman kazancı sağlaması, her türlü veriyi uygun araç ve yöntemlerle işleyebilmesi, belirli profiller oluşturup, geçmiş davranışları da yorumlayarak geleceğe yönelik yeni yorumlar yapılmasını sağlaması açısından, veri madenciliği günümüzde çok farklı disiplinlere ve alanlara işlevsel olarak uygulanabilen bir teknik haline gelmiştir. Özellikle taşımacılık ve ulaşım, pazarlama, istatistik, sigortacılık, bankacılık, eğitim, biyoloji, tıp gibi pek çok sektörde ve ayrıca veri tabanı teknolojileri (database technologies), bilgi elde etme (information retrieval), bilgi-tabanlı sistemler (knowledge-based systems), yüksek performanslı hesaplama (high-performance computing), yapay zeka (artificial intelligence), makine öğrenmesi (machine learning), örüntü tanıma (pattern recognition), ağ bilimi

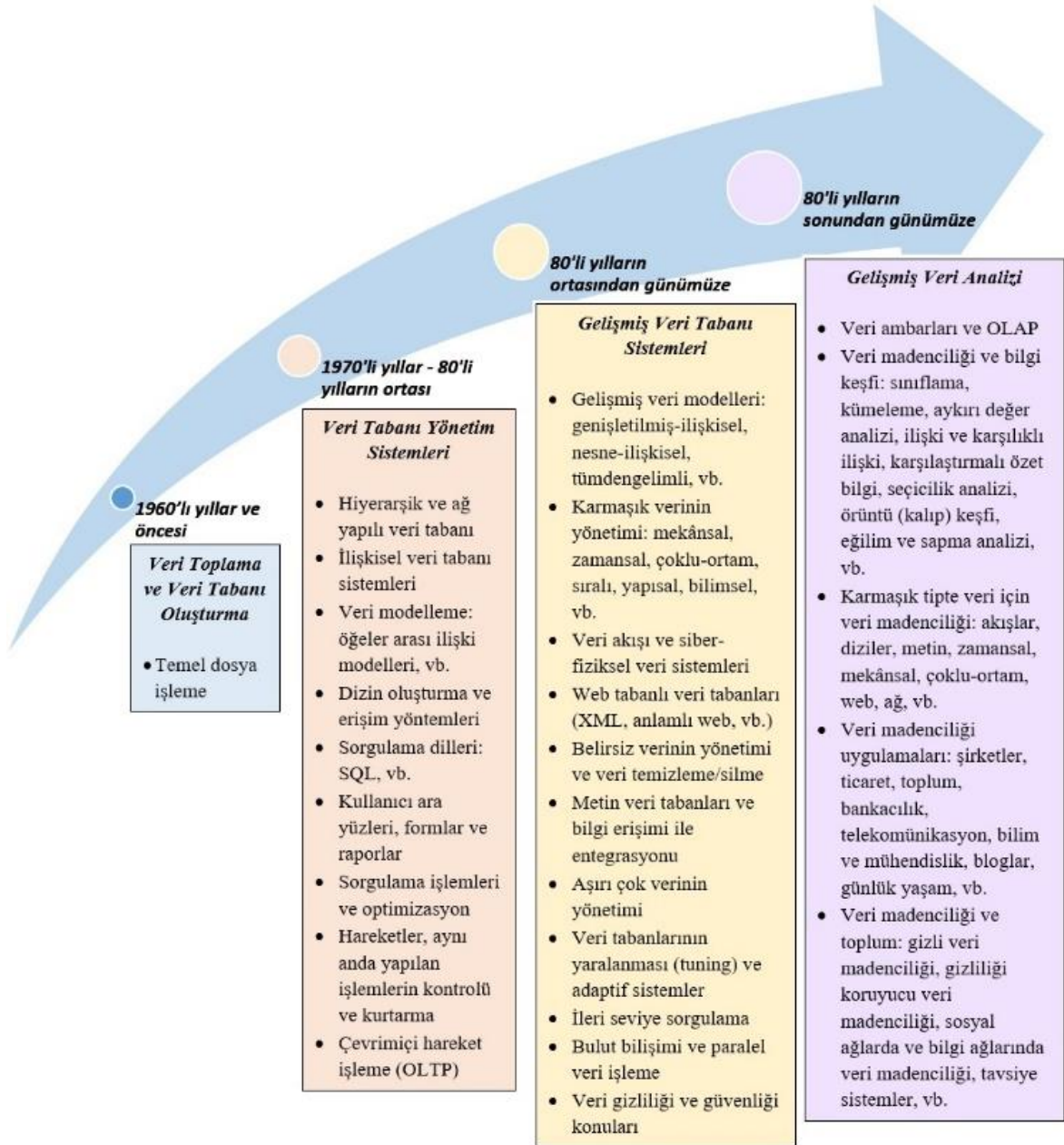
(network science) ve veri görselleştirme (data visualization) gibi birçok alan ve konuda kullanılmaktadır (Han vd., 2012).

Madencilik, gerçek anlamı ile düşünöldüğünde, istenen madene ulaşana kadar karşılaşılan diğer madenleri eleme ve istenen madene ulaşıldığında da kullanıcının isteğine yönelik bunun işlenmesidir. Veri madenciliği de, bu gerçek tanımlamadan yola çıkılarak, Şekil 1’de de gösterildiği üzere, en kısa haliyle “veriden bilgiyi keşfetme” olarak ifade edilebilir (Seifert, 2004). Daha geniş bir tanımlamayla ise, günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle ortaya çıkan ve büyük veri tabanlarında (database), veri ambarlarında (data warehouse), web’de, veri akışlarında (data stream) veya farklı büyük bilgi depolarında kaydedilen çok miktarda verinin belirli bir amaca uygun olarak seçilip sonrasında da işlenerek anlamlı hale getirilmesidir (Han vd., 2012). Bu kapsamlı tanımdan da anlaşılacağı üzere veri madenciliğinde amaç sadece bir veri havuzu içinden gerekli olanları ayıklamakla sınırlı değildir; aynı zamanda ayıklanan bu gerekli veriyi kullanarak ve anlamlandırarak belirli bir sonucu yani bilgiyi elde edebilmektir. Veri madenciliği uygulamalarını başarılı kılmak için sürekli bilgi akışını sağlama, bilgileri istenen şekilde uyarlayabilme ve başka bilgilerle birleştirebilme ile aynı zamanda başka araştırmalar için yeni bağlantılar da kurabilme oldukça önemlidir.

Veri madenciliğinin tarihsel gelişimine bakıldığında ise, başlangıç noktası asıl olarak bilgisayarların hayatımızda yer almasıyla birlikte, ilk büyük ölçekli verilerin ve veri tabanlarının oluşmasıdır. Veri tabanları ile ilgili ilk çalışmaların ortaya çıktığı 1960’lar ve öncesinde, sadece verilerin toplanması ve veri tabanlarının oluşturulması kabiliyetleri söz konusu iken, 1970’li yıllardan 80’lerin ortalarına dek geçen zamanda ise veri tabanı yönetim sistemleri (database management systems) ortaya çıkmıştır. 80’lerin ortasından 90’lı yıllara ve oradan da günümüze gelindiğinde ise artık ileri seviye, gelişmiş veri tabanları ve veri analiz yöntemleri ile hem geriye dönük verilerin işlenmesi, hem de bu verilerle ileriye yönelik verinin ve tahminlerin, öngörülerin oluşturulması gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2’de veri tabanları sistemleri teknolojisinin tarihsel gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 1: Veri madenciliğinin işlevi

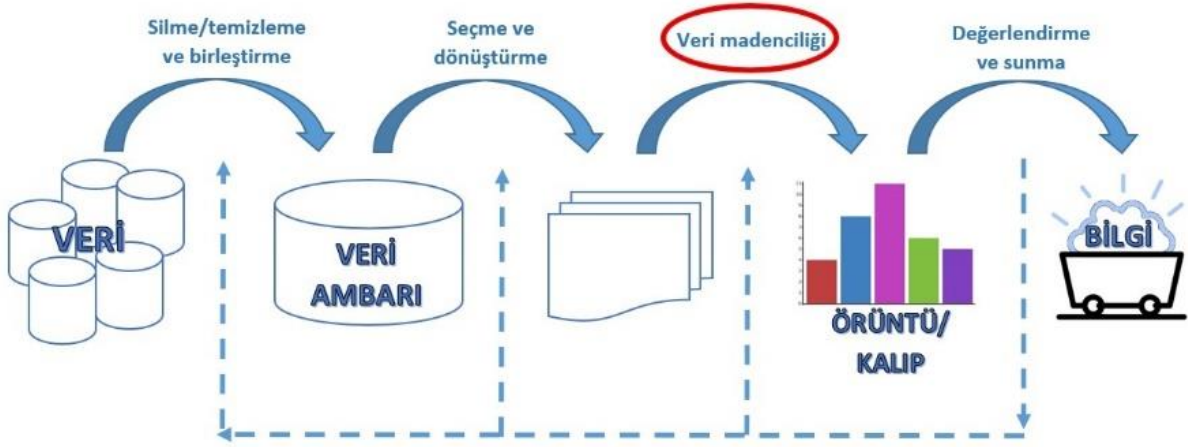


Şekil 2: Veri tabanları sistemlerinin tarihsel gelişimi ve veri madenciliğinin yeri (Han vd., 2012)

Şekil 3'te görüldüğü üzere veri madenciliği, aslında bilginin oluşturulması aşamalarında işlem basamaklarından biridir. Bilginin oluşturulması sürecinde yer alan her bir işlem basamağı kısaca şu şekilde açıklanabilir (Han vd., 2012).

- **Veri silme/temizleme:** Gürültü, parazit ya da tutarsız verinin kaldırılmasıdır.
- **Veri birleştirme:** Birden çok kaynaktan gelen verinin birleştirilmesidir.
- **Veri seçimi:** Analiz ile ilgili verileri içeren veri tabanlarının belirlenmesidir.

- **Veri dönüşümü:** Verilerin özetleme ya da toplama yapılarak veri madenciliği için uygun formlara dönüştürülmesidir.
- **Veri madenciliği:** Veri kalıplarını, örüntüleri oluşturmak üzere akıllı yöntemlerin uygulandığı süreçtir.
- **Örüntü/kalıp oluşturma:** Çeşitli ölçütlere göre modellerin/kalıpların tanımlanması aşamasıdır.
- **Bilginin sunulması:** Kullanıcılara ihtiyacı olan verinin sunumu/ görselleştirilmesidir.



Şekil 3: Bilginin oluşturulmasında/keşfinde veri madenciliğinin yeri

Veri madenciliğinin etkili bir biçimde kullanılabilmesi için öncelikle bir veri tabanına ihtiyaç vardır. Veri tabanı, belirli bir amaç doğrultusunda tutarlı bir veri topluluğunun faydalı, anlaşılır ve güvenilir modellemeler şeklinde elde edilmesidir. İyi bir veri tabanı, güncel teknolojiyle hızlı şekilde güncellenen istenilen bilgilere istenilen zamanlarda ulaşmayı sağlamalı, kendi içinde bütün ve tutarlı olmalıdır.

Bilgiyi oluşturma sürecinde belirli bir düzenin oluşabilmesi ve devamlılığı sağlamak açısından, veri madenciliği özellikle model oluşturma ve modeli izleme basamakları sayesinde iyi bir alt yapı oluşturabilir. Veri madenciliği, Şekil 4'te gösterilen ve aşağıda sıralanan aşamaları takip eder.

- **Problemin tanımlanması:** Hangi amaç için verilerin toplanacağını belirlenmesidir.
- **Verilerin hazırlanması:** Amaca yönelik farklı gruplamalardan birçok verinin bir araya toplanması, aralarındaki kodlama farklılıklarından oluşacak uyumsuzluğu önleyerek hepsinin bir araya getirilmesi, ortaya büyük bir veri tabanı çıkarsa içinde gruplama yapılması (sabit veya değişken veri gibi) ve oluşan yeni veri tabanını amaca yönelik

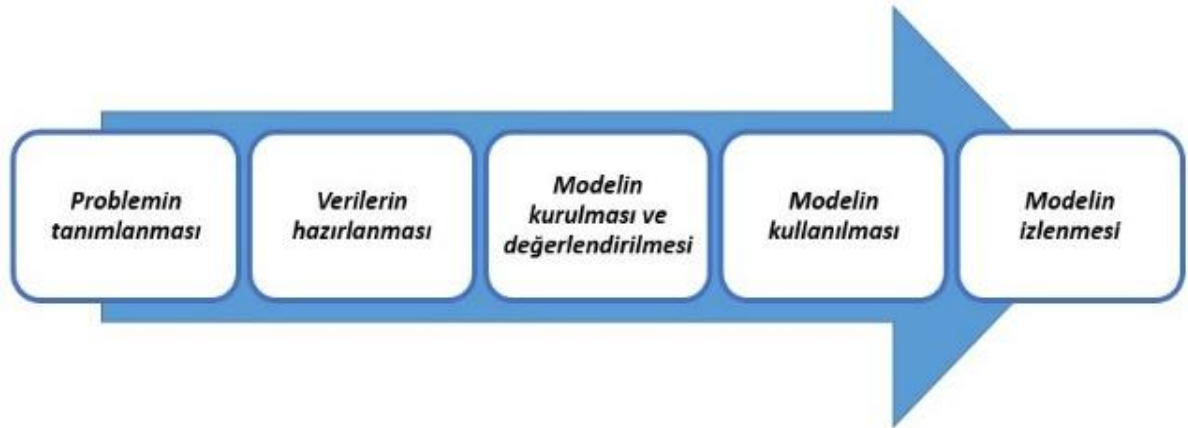
dönüştürülmesi ile yeni bir işlevsel gruplandırma yapılmasıdır.

- **Modelin kurulması ve değerlendirilmesi:** En iyi gruplandırmayı yapabilmek için bir deneme yanılma süreci vardır. En verimli model yapısını belirlemek için sınıflama, kümeleme ve regresyon tekniklerinin kullanıldığı aşamadır.
- **Modelin kullanılması:** Geçerliliği kabul edilen modelin amaca yönelik kullanılması veya bir başka amaca yönelik alt model olarak kullanılmasıdır.
- **Modelin izlenmesi:** Zaman içerisinde sistemlerin özelliklerinde değişken verilerden dolayı ortaya çıkan değişiklikler, kurulan modellerin sürekli olarak izlenmesini ve gerekiyorsa yeniden düzenlenmesini gerektirir.

2. HAVACILIKTA VERİ MADENCİLİĞİ UYGULAMALARI

Verinin bulunduğu her yerde veri madenciliğinin kullanılması mümkündür. Havacılık sektörü de bu uygulama alanlarından biridir ve bu alandaki pek çok farklı konuda veri madenciliğinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında özellikle makale ve konferans yayınlarının indekslendiği IEEEExplore,



Şekil 4: Veri madenciliği basamakları

ScienceDirect, Web of Science gibi başlıca veritabanlarında, çeşitli anahtar kelimeler – “data mining”, “big data”, “aviation”, “aircraft”, “airline” – ile taranan akademik yayınlar son beş yıllık süre için incelendiğinde, veri madenciliğinin uygulama alanlarının gruplandırılması ve bu gruplar içerisinde ele alınan konular aşağıda sıralanmaktadır. Şekil 5’den de anlaşılacağı üzere, özellikle 2017 yılı içinde veri madenciliğinin havacılık alanındaki uygulamalarına olan ilginin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir.

➤ *Havayolu operasyonları, hava trafiği ve havaalanı ile ilgili uygulamalar*

- hava trafik yönetimi ve kontrolü ile ilgili uygulamalar (Buschmann vd., 2014; Kuhn, 2016; Rui vd., 2017)
- yolcu ihtiyaçlarını ve taleplerini anlama ve değerlendirme, müşteri memnuniyeti, yolcu geri dönütlerinin analizi araştırmaları (Chen vd., 2015; Wan ve Gao, 2015; Seyfioğlu ve Demirezen, 2017)
- check-in ve bagaj işlemleri (Ahmed vd., 2015; Liv vd., 2017)
- uçuş planı ve filo belirleme (Akartunalı vd., 2013a; Akartunalı vd., 2013b)
- gecikme nedenlerinin ve sürelerinin analizi/öngörülmesi/tahmini (Ravizza vd., 2014; Baluch vd., 2017; Manna vd., 2017)
- hub/network belirleme ve kurma, havaalanı kapasitesinin analizi (Xiangmin ve Li, 2017)
- havaalanı ile ilgili uygulamalar (Luca ve Abbondati, 2016)

➤ *Emniyet ve güvenlik ile ilgili uygulamalar*

- kaza/olay verilerinin analizi, emniyet/risk yönetimi (Arockia vd., 2013; Zhu ve Ni, 2013; Lukacova, 2014; Asgary vd., 2015;

Pagels, 2015; Christopher vd., 2016; Sharma ve Sabitha, 2016; Liu ve Cui, 2017; Koteeswaran vd., 2017; Duvviri vd., 2017)

- insan faktörü ile ilgili uygulamalar (Yuan vd., 2017)
- havaalanı ve uçuş güvenliği (Wang vd., 2013)

➤ *Uçak sistemleri ve bakım ile ilgili uygulamalar*

- uçuş verilerinin analizi ve anomalilerin belirlenmesi (Zaida vd., 2015; Pagels, 2015; Janakiraman, 2016)
- bakımla ilgili analizler, arıza tespiti ve ayrıştırma, parça ömrü analizleri (Rashid vd., 2013; Chandramohan vd., 2014; Bastos vd., 2014; Xu ve Kumar, 2015; Jing vd., 2016; Xin vd., 2016; Hemmati vd., 2017; Mack vd., 2017; Veresnikov ve Skryabin, 2017)
- uçak güç gruplarının verimlilik analizleri, yakıt/emisyon/gürültü ilgili uygulamalar (Loro ve Lacaille, 2017; Qu vd., 2017; Qiang vd. 2017; Grampella vd., 2017)

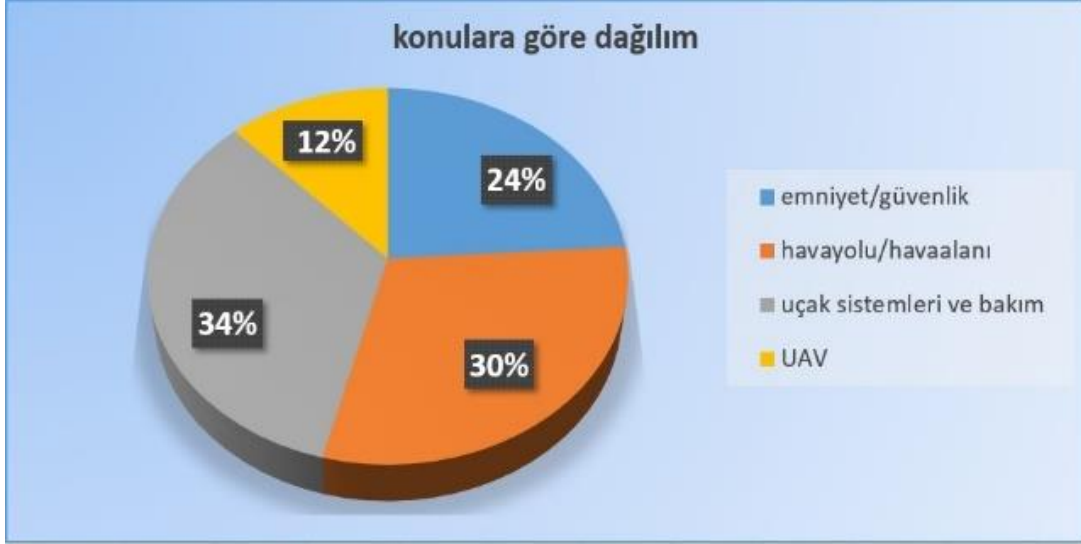
➤ *İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) ile ilgili uygulamalar*

- kontrol (Zhi, 2017)
- uçuş verilerinin analizi (Pan, 2017; Qian vd., 2017)
- çoklu görev planlamaları ve analizleri, yörünge planlama (Wenjing ve Shengong, 2017; Roldan vd., 2017; Zou, 2017)

İlgili konu başlıklarındaki çalışmalar bir bütün halinde incelendiğinde, Şekil 6’da da görüldüğü üzere özellikle operasyonel konular ve havaalanı ile ilgili araştırmalar tüm bu yayınlar içinde en büyük orana sahip olan olarak öne çıkmaktadır. Sonrasında ise oranların sırasıyla uçak sistemleri ve bakım



Şekil 5: Yıllara göre yayınların konu başlıklarındaki dağılımları



Şekil 6: Konulara göre çalışmaların dağılımı

analizleri ile ilgili çalışmalar, emniyet ve güvenlik ile ilgili çalışmalar ve yeni bir alan olarak da insansız hava araçları çalışmaları tarafından paylaşıldığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında ele alınan yayınlarda yapılan araştırmalar alanlara özel olarak incelendiğinde, operasyonel konularla ilgili çalışmalarda özellikle hub seçimi, planlama ve yolculara ve sunulan hizmetlere yönelik yapılan analizler (memnuniyet, talep, davranış, tercih, vb.) öne çıkmaktadır. Emniyet/güvenlik alanı içerisinde ise çalışmalar özellikle kaza/olay analizleri ve bunlarla ilgili öngörülerin yapılabilmesi üzerine odaklanmıştır. Ayrıca öngörü ve tahminlere dayalı olarak risk yönetimi konuları da bu kapsamda çalışılmıştır. Bunların yanısıra havalanı güvenliği ve terör riskleri/analizleri gibi konular da bu alanda çalışmaların yer aldığı başlıklardandır. Uçak sistemleri ve bakım alanındaki çalışmalarda ise arıza tespit ve ayrıştırma (fault diagnosis) ile arıza öngörülerinin/tahminlerinin yapılmasına yönelik konular öne çıkmaktadır. İnsansız hava aracı ile alanlarda veri madenciliğinin uygulanması ise diğer çalışma konularına göre oldukça yeni ve keşfedilmeye yönelik bir alan olarak dikkat çekmektedir.

Başta havacılık alanı olmak üzere veri madenciliğinin daha da verimli bir şekilde uygulanabilmesi analiz araçlarının öncesinde başta verinin teminine ve depolanmasına bağlıdır. Endüstri 4.0'ın da önemli bir noktası olan büyük verinin temini, depolanması, analizi noktalarında, son yıllarda oldukça hızlı gelişme gösteren nesnelerin interneti (internet of things, IoT) ve bulut bilişimi (cloud computing) konuları bu noktada çözümler üretebilecek teknolojiler olarak öne çıkmaktadır. IoT teknolojileri sayesinde pek çok cihazın, bilgisayarın, veri üreten her türlü donanımın bir ağ oluşturarak birbirine bağlanması ve birbiri ile

haberleşmesi mümkün olabilmektedir. Bu durum verilerin iletiminde ve toplanmasında hızı arttırıp araçları azaltırken, aynı zamanda yaratılan büyük veri miktarındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Bulut bilişimi konusu özellikle daha fazla depolama alanı sağlaması, hızlı veri transferine imkân vermesi ve yedekleme/depolama maliyetleri üzerinde tasarruf imkânı sağlamasından dolayı önem kazanmaktadır.

Veri madenciliği ve paralelinde gelişen ve uygulamaları destekleyen teknolojilerin en önemli sorunları ise kişisel verilerin gizliliğinin korunması ve veri güvenliğinin sağlanmasıdır. Havacılık uygulamaları açısından ele alındığında veri madenciliği ile ilgili çalışmalarda da başta yolculara ait verilerin, uçak sistemlerinde ve uçuş kayıt cihazlarında depolanan verilerin, kaza/olay ve bakım verilerinin ve raporlarının kısacası havacılık sektörünün elinde depolanan büyük verinin akademik çevrelerle paylaşımı ve yayınlanması konuları sıkça karşılaşılan zorlayıcı konulardır. Kişisel ve teknik verilerin gizliliği ve güvenliği başlıkları ve bu konudaki endişeler verinin üçüncü kişilerle paylaşımı açısından önemli noktalar olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, T., Calders, T., Pedersen, T.B. (2015). Mining risk factors in RFID baggage tracking data, 16th IEEE International Conference on Mobile Data Management, pp. 235-242.
- Akartunalı, K., Boland, N., Evans, I., Wallace, M., Waterer, H. (2013a). Airline planning benchmark problems - part I: characterising networks and demand using limited data, *Computers and Operations Research*, vol. 40, pp. 775-792, DOI: 10.1016/j.cor.2012.02.012.
- Akartunalı, K., Boland, N., Evans, I., Wallace, M.,

- Waterer, H. (2013b). Airline planning benchmark problems - part II: passenger groups, utility and demand allocation, *Computers and Operations Research*, vol. 40, pp. 793-804, DOI: 10.1016/j.cor.2012.03.005.
- Asgary, A., Ansari, S., Duncan, R., Pradhan, S. (2015). Mapping potential airplane hazards and risks using airline traffic data, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 13, pp. 276-280, DOI: 10.1016/j.ijdr.2015.07.002.
- Baluch, M., Bergstra, T., El-Hajj, M. (2017). Complex analysis of United States flight data using a data mining approach, *CCWC'2017 7th Computing and Communication Workshop and Conference*, DOI: 10.1109/CCWC.2017.7868414.
- Bastos, P., Lopes, I., Pires, L. (2014). Application of data mining in a maintenance system for failure prediction, *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*, Steenbergen et al. (Eds), pp. 933-940, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00123-7.
- Bloedorn, E. (2000). Mining aviation safety data: a hybrid approach, MITRE.
- Bushmann, S., Matthias, T., Döllner, J. (2014). Real-time animated visualization of massive air-traffic trajectories, *International Conference on Cyberworlds*, pp. 174-181.
- Chandramohan, A.M., Mylaraswamy, D., Xu, B. (2014). Big data infrastructure for aviation data analytics, *CCEM'2017 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets*, October 15-17, India, DOI: 10.1109/CCEM.2014.7015483.
- Christopher, A.B.A., Balamurugan S.A. (2013). Data mining approaches for aircraft accidents prediction: an empirical study on Turkey airline, *International Conference on Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology*, India, March 25-26, DOI: 10.1109/ICE-CCN.2013.6528602
- Christopher, A.B.A., Shunmughavel, V., Vivekanandam, A.B., Anderson, A., Markkandeyan, S., Sivakumar, V. (2016). Large-scale data analysis on aviation accident database using different data mining techniques, *The Aeronautical Journal*, vol. 120, no. 1234, pp. 1849-1866, DOI: 10.1017/aer.2016.107.
- Duvvuri, M.D., Borra, S.K., Yarlagadda, P., Jaume, S. (2017) Transportation analytics: a study of aviation accidents and flight incidents, *International Journal of Data Analysis and Information systems*, vol. 90, no. 1, pp. 11-23.
- Grampella, M., Lo, P., Matini, G., Scotti, D., (2017). The impact of technology progress on aviation noise and emissions, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 103, pp. 525-540.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J., (2012). *Data mining concepts and techniques*, 3rd Edition, Elsevier.
- Hemmati, H., Arefin, S.S., Siddiqui, T.R. (2017). Analytic-based safety monitoring and verification, *SMC'2017 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Canada, October 5-8, pp. 3608-3613.
- Jing, T., Long, F., Shi, X. (2016). Research of aircraft integrated drive generator fault diagnostic decision based on attribute reduction in rough sets, *AUS'2016 IEEE/CSAA International conference on Aircraft Utility Systems*, China, October 10-12, pp. 393-397.
- Li, Z., Bi, J., Zhang, J., Li, Q. (2017). Analysis of airport departure baggage check-in process based on passenger behavior, *ISCID2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design*, China, December 9-10.
- Liu, J., Cui, M. (2017). The analysis of civil aviation incident information based on knowledge map, *ICTIS'2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety*, Canada, August 8-10, pp. 679-684.
- Loro, M.N., Lacaille, J. (2016). Datamining turbofan engine performance to improve fuel efficiency, *Future Technologies Conference*, USA, December 6-7.
- Luca, M., Abbondati, F., (2016). Preliminary study on runway pavement friction decay using data mining, *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 3751-3760.
- Lukacova, A., Babic, F., Paralic, J. (2014). Building

- the prediction model from the aviation incident data, SAMI2014 12th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Slovakia, January 23-25.
- Mack, D.L.C., Biswas, G., Koutsoukos, X.D., Mylaraswamy, D. (2017). Learning bayesian network structures to augment aircraft diagnostic reference models, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 14, no. 1, DOI: 10.1109/TASE.2016.2542186.
- Manna, S., Biswas, S., Kundu, R., Rakshit, S., Gupta, P., Barman, S. (2017). A statistical approach to predict flight delay using gradient boosted decision tree, ICCIDS'2017 International Conference on Computational Intelligence in Data Science, India, June 2-3.
- Pagels, D.A., (2015). Aviation data mining, Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris, Undergraduate Journal, vol.2, no. 1.
- Pan, D. (2017). Hybrid data-driven anomaly detection method to improve UAV operating reliability, Prognostics and System Health Management Conference, China, July 9-12, DOI: 10.1109/PHM.2017.8079281.
- Qian, S., Zhou, S., Chang, W. (2017). An improved aircraft hard landing prediction model based on panel data clustering, CCDC'2017 29th Chinese Control and Decision Conference, China, May 28-30, pp. 438-443, DOI: 10.1109/CCDC.2017.7978134.
- Qu, D., Yang, B., Gao, T., Yuan, L., Chen, X. (2017). ARINC664 bus function test and its fault injection based on ethernet card, IICIEA'2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Cambodia, June 18-20.
- Rashid, H.S.J., Place, C.S., Braithwaite, G.R., (2013). Investigating the investigations: a retrospective study in the aviation maintenance error causation, Cognition, Technology & Work, vol. 15, pp. 171-188.
- Ravizza, S, Chen, J., Atkin, J.A.D., Stewart, P., Burke, E.K. (2014). Aircraft taxi time prediction: comparisons and insights, Applied Soft Computing, vol. 14, pp. 397-406, DOI: 10.1016/j.asoc.2013.10.004.
- Roldan, J.J., del Cerro J., Barrientos, A. (2017). Using process mining to model multi-UAV Missions through the experience, IEEE Intelligent Systems, vol. 32, no. 4, pp. 40-47, DOI: 10.1109/MIS.2017.3121547.
- Rui, M., Pedro, C., Roberto, H. (2017). Crawling public massive data to solve air traffic data issues, CIST'2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, Portugal, June 21-24.
- Seifert, J.W. (2004). Data mining: an overview, CRS Report for Congress, Congressional Research Service, The Library of Congress.
- Seyfioğlu, M.S., Demirezen, M.U. (2017). A hierarchical approach for sentiment analysis and categorization of Turkish written customer relationship management data, FedCSIS2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Czech Republic, September 3-6.
- Sharma, S., Sabitha, A.S. (2016). Flight crash investigation using data mining techniques, IICIP'2016 1st India International Conference on Information Processing, August 12-14, India, DOI: 10.1109/IICIP.2016.7975390.
- Veresnikov, G.S., Skryabin, A.V., (2017). The development of data mining methods criteria to identify failures of aircraft control surface actuator, International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Marseille, France, pp. 1-8, September 6-8.
- Wang, Y., Andoh-Baidoo, F., Jun, S., (2013). Factors that influence transportation security funding: a data mining analysis on U.S. airport improvement grants, 46th Hawaii International Conference on System Sciences, Wailea, Maui, HI, USA, pp.1-9.
- Wenjing, C., Shenghong, X. (2017). A workflow based multi-UAV cooperation architecture, ICIM'2017 3rd International Conference on Information Management, China, April 21-23, pp. 496-499, DOI: 10.1109/INFOMAN.2017.7950435.
- Xiangmin, G., Li, M. (2017). Departure capacity predict, on for hub airport in thunderstorm based on data mining method, CCDC'2017 29th Chinese Control and Decision Conference, China, May 28-30.
- Xin, Z., Ming-qing, X., Yi-wang-lang, X., Han-qiao, Wei, C. (2016). Method for predicting

- aviation equipment failures based on degradation-track similarity, IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, China, August 12-14, pp. 1472-1477.
- Yuan, W., Zhou, L., Guan, D., Han, G., Shu, L. (2017). Anomaly detection for civil aviation pilot using step-sensors, IEEE Access (Special Section on Intelligent System for the Internet of Things), vol.5, pp. 11236-11243, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2717494.
- Zhi, Y., Xiantai, G., Weidong, J. Haowen, X., Lingyuan, Z. (2017). Reverse engineering for UAV control protocol based on detection data, ICMIP'2017 2nd International Conference on Multimedia and Image Processing, China, March 17-19, pp. 301-304, DOI: 10.1109/ICMIP.2017.30.
- Zhu, D., Ni, Y. (2013). The application of data mining in the civil aviation accident analysis, Applied Mechanics and Materials, vol. 241-244, pp. 3000-3004, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.241-244.3000.
- Zou, Y., Meng, Z. (2017). Leader-follower formation control of multiple vertical takeoff and landing UAVs: distributed estimator design and accurate trajectory tracking, ICCA'2017 13th IEEE International Conference on Control and Automaton, Macedonia, July 3-6, pp. 764-769, DOI: 10.1109/ICCA.2017.8003156.