



Ege Üniversitesi Yayınları
Havacılık Meslek Yüksekokulu Yayın No: 1

HAVACILIK TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI KİTABI

Editörler
Coşkun HARMANŞAH
Hüseyin Tamer HAVA

İzmir 2022

Ege Üniversitesi Yayınları
Havacılık Meslek Yüksekokulu Yayın No: 1

HAVACILIK TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI KİTABI

Editörler

Coşkun HARMANŞAH

Hüseyin Tamer HAVA

İzmir 2022

HAVACILIK TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI KİTABI

Coşkun HARMANŞAH

Hüseyin Tamer HAVA

ISBN: 978-605-338-341-3

Ege Üniversitesi Yönetim Kurulu'nun 16.12.2021 tarih ve 07/04 sayılı kararı ile basılmıştır.

© Bu kitabın tüm yayın hakları Ege Üniversitesi'ne aittir. Kitabın tamamı ya da hiçbir bölümü yazarının önceden yazılı izni olmadan elektronik, optik, mekanik ya da diğer yollarla kaydedilemez, basılamaz, çoğaltılamaz. Ancak kaynak olarak gösterilebilir.

Eserin bilim, dil ve her türlü sorumluluğu yazarına/editörüne aittir.

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Sertifika No: 52149

Yayın İletişim

Ege Üniversitesi Rektörlüğü

İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı

Basım ve Yayınevi Şube Müdürlüğü Bornova-İzmir

Tel: 0 232 311 59 07 - 0 232 342 12 52

E-posta: egekitapsatis@mail.ege.edu.tr

Yayınlanma Tarihi: Nisan 2022



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisansı (CC BY 4.0) ile lisanslanmıştır. Bu lisans, yazarlara atıf yapmak koşulu ile metni paylaşmanıza, kopyalamanıza, dağıtmanıza ve iletmenize; metni uyarlamak ve metnin ticari kullanımına (ancak sizi veya eseri kullanımınızı desteklediklerini ileri sürecek şekilde değil) izin verir.

The work (as defined below) is provided under the terms of this creative commons public license ("ccpl" or "license"). This license allows reusers to copy and distribute the material in any medium or format in unadapted form only, for noncommercial purposes only, and only so long as attribution is given to the creator.

ÖNSÖZ

Ülkemiz havacılığının özellikle son yıllarda gösterdiği büyük teknolojik gelişmeler ve başarılar multidisipliner yaklaşımların bir sonucudur. Havacılık sektörümüzün bağımlılıktan kurtulması ancak özgün ve yerli hava teknolojilerinin üretimi ile söz konusu olacaktır. Bunun için ihtiyaç duyulan yerli sanayiye geliştirme noktasında savunma sanayi ve sivil havacılık alanında ciddi yatırımlar ve girişimler olmaktadır. Bu girişimleri destekleyecek havacılık eğitimine yönelik faaliyetler tüm havacılık paydaşlarının birikim, paylaşım, ortak akıl ve gayretleri ile bir noktaya gelecektir. Havacılık alanında yaşanan bu değişim ve dönüşümde sektör, eğitici ve araştırmacıların sahip olduğu bilgi birikiminin paylaşılması son derece önemlidir.

Türk Havacılığının gelişmesinde eğitimci, akademisyen, araştırmacı ve diğer paydaşların bilgi ve birikimleri ile yürütülen bilimsel çalışmalar ve araştırmalar bir sinerji yaratmaktadır. Günümüzde her türlü teknolojik gelişimde bilimsel araştırmaların ve Ar-Ge faaliyetlerinin son derece önemli olduğu bilinmektedir. Havacılığımızı daha ilerilere taşıyacak itici gücün; üniversiteler öncülüğünde yapılacak girişimler ve sektörün vereceği desteklerle oluşacağı muhakkaktır.

Havacılık teknolojisi ve uygulamalarının akademik olarak ele alındığı bu kitabın temel kazanımlarından birisi de alanın bilgi birikiminin paylaşımı ve ilgili paydaşlara bunların detaylı olarak aktarılması olacaktır.

Editör

Coşkun HARMANŞAH

Editör

Hüseyin Tamer HAVA

İÇİNDEKİLER

POLYMER COMPOSITE BASED ADDITIVE MANUFACTURING FOR AEROSPACE APPLICATIONS	1
OTOPİLOT EĞİTİM SETİNİN UÇUŞ SİMÜLATÖRÜNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ	19
PLM YÖNÜYLE HAVACILIK SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ	25
ASKERİ HAVA ARACI KAZALARINDA İNSAN FAKTÖRÜ KAVRAMI ÜZERİNE NİTEL BİR ARAŞTIRMA	39
HAVACILIK SEKTÖRÜNDE PRESENTEİZM: UÇUŞ VE BAKIM EMNİYETİ BAĞLAMINDA BİR ARAŞTIRMA	93
HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN DİJİTALLEŞME SÜRECİNE YERLİ VE MİLLİ DESTEK: HİTİT BİLGİSAYAR HİZMETLERİ A.Ş' YE YÖNELİK BİR İNCELEME	105
PERFORMANCE ASESSMENT OF A MICROJET ENGINE BY USING ADVANCED EXERGY ANALYSIS	125
HAVACILIK EĞİTİMİNDE YENİ BİR PERSPEKTİF: ETKİLEŞİMLİ SANAL GERÇEK LİK ORTAMLARI	139
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF HELICOPTER DOWNWASH/SHIP AIRWAKE INTERACTION FLOWFIELD	153
ULTRASONİK DALGA SAÇINIMLARIYLA GERÇEK ZAMANLI YAPI SAĞLIĞI İZLEME	163
HAVA ARACI BAKIM EĞİTİMİ KURULUŞLARINDA KULLANILMAK ÜZERE 3 BOYUTLU YAZICI KULLANARAK ROLLS ROYCE TRENT 700 YÜKSEK BYPASS ORANLI TURBOFAN GAZ TÜRBİNLİ MOTOR ÜRETİLMESİ	173
HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA YÜKLEME PROBLEMİNİN EVRİMSEL ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ	183
DETERMINING THE EFFECT OF LAYER HEIGHT ON THE BONDING STRENGTH OF ADDITIVELY MANUFACTURED TENSILE SAMPLES	195
UÇAK BAKIM TEKNİSYENLERİNİN HAVACILIK TIBBİ EĞİTİMLERİ	203
PID VE SPSA İLE HEXAROTOR İHA'NIN DİNAMİK MODELLENMESİ VE ASKIDA UÇUŞ KONTROLÜ	211

POLYMER COMPOSITE BASED ADDITIVE MANUFACTURING FOR AEROSPACE APPLICATIONS

Özlem DOĞRU, M. Özgür SEYDİBEYOĞLU,
Alperen DOĞRU, Ayberk SÖZEN

INTRO

Polymer materials, thanks to their mechanical, chemical, and thermal properties, are used in the production of many different components in the aerospace industry and in the support equipment of the industry(Park and Fu 2021; Wong and Hernandez 2012). In addition, polymer matrix composite materials have also become an indispensable source of structural parts of aircraft over the years(Seydibeyoğlu et al. 2020).

The use of polymer materials in additive manufacturing technologies creates opportunities for the aerospace industry, thanks to the benefits of additive manufacturing technologies(Seydibeyoğlu, Erdoğan, and Alyamaç n.d.). By using additive manufacturing technologies, it is possible to produce parts with complex geometry(Mazzanti, Malagutti, and Mollica 2019). Parts produced with minimal waste material and fewer post-process requirements can be used in a wide variety of fields(Shoeb, Kumar, and Haleem 2020)(Uriondo, Esperon-Miguez, and Perinpanayagam 2015). Additive manufacturing (AM) technologies give allow manufacturers the ability to produce uniquely shaped parts at low cost without the need for assembly and with a small volume of production. It can also be called a technology that increases the freedom of design and makes production independent of design(Mazzanti et al. 2019). Another driving force of these technologies is the production of lightweight components with high structural integrity and topology optimization, thus enabling weight reduction in parts(Zhu, Zhang, and Xia 2016)(Redwood, Schöffer, and Garret 2017). This situation creates an opportunity for the emergence of ecological and environmentally friendly parts.



Figure 1. Polymer Based Manufactured Parts by AM(Anon n.d.)

Fiber reinforcement is made to improve the strength properties of polymer materials(Parandoush and Lin 2017). Reinforcing the polymer matrix with fiber is a widely used method in industries such as aerospace(Saracyakupoglu 2019), automotive(Frketic, Dickens, and Ramakrishnan 2017), wind turbine(Shah, Schubel, and Clifford 2013), and medical(Delgado Camacho et al. 2018). Thanks to fiber-reinforced polymers, the industrial use of products produced with additive manufacturing technologies is increasing and composite structures can be manufactured without plastic injection, vacuum infusion, or pressure molding(Araya-Calvo et al. 2018).

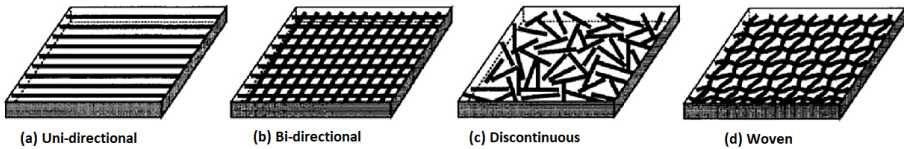


Figure 2. Composite material reinforcement types (Tawfik et al. 2017)

Fiber-reinforced polymers developed for use in additive manufacturing technologies have two different applications: continuous fiber(Braley, Tamayo, and Barnes 2019) and short fiber(Ivey et al. 2017). Although short fiber reinforcement is used in production techniques using composite polymer composition, continuous fiber reinforcement is used in the continuous fiber manufacturing (CFM) additive manufacturing method(Li, Li, and Liu 2016). While special devices are required for the CFM method, short fiber reinforced polymer materials can be used in a wider area(Mazzanti et al. 2019). By using additive manufacturing technologies, complex geometry products such as mold parts, elbow cranks, bearings, hinges, and flanges can be produced at low cost with composite materials, especially in the aerospace, defense, automotive, wind turbine, and medical sectors. The obstacles created by the geometrical structures of the parts with topology optimization in production are eliminated using the developed materials in additive manufacturing methods. A simple topology optimized part and the part produced by additive manufacturing are shown in figure 3. In prototype manufacturing, one of the important conditions for testing is that the material used in mass production and the prototype material is the same(Mirzendehtel and Suresh 2016). With the increase in the variety of materials used in this field, it is possible to produce testable prototypes. More than 50% of the parts produced with additive manufacturing technologies are polymers.

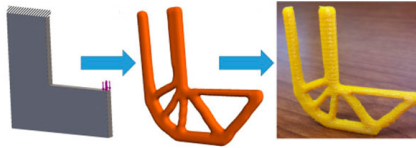


Figure 3. Topology optimized design(Mirzendehtel and Suresh 2016)

Although polymer additive manufacturing with additive manufacturing technologies has advanced significantly in the last few decades, limitations in material properties, production speed, and part size limit this technology in the final production of end-use parts(Alafaghani et al. 2017). However, additive manufacturing technologies are changing the conventional processes in the aerospace, and defense industries, especially in production and design. Additive manufacturing methods create significant opportunities in the aerospace, and defense industries, where a project-based and a limited number of parts are produced and components with complex geometries(Keshavamurthy, Tambrallimath, and Saravanabavan 2021)(Ghaffar, Corker, and Fan 2018). The positive effects of additive manufacturing methods in the aerospace industry are shown in figure 4. The effectiveness of standards, authorization, and quality systems in the field of additive manufacturing provides the expansion of these applications. In the aerospace, and defense industry, where the jurisdictions are determined with sharp lines, the field of application is expanding day by day with the increase in knowledge about additive manufacturing methods and the creation of relevant standards(ASTM 2015a, 2015b, 2017; ASTM International ISO/ASTM 2013).

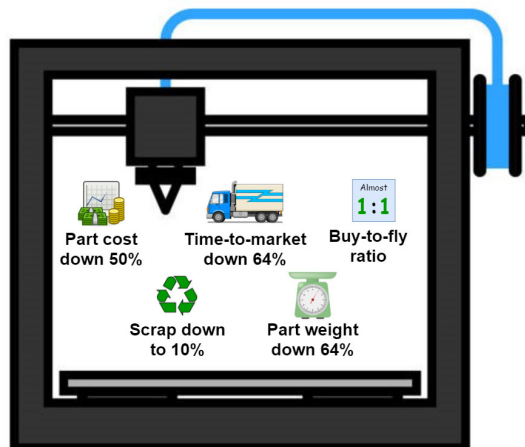


Figure 4. Benefits of additive manufacturing technology to the aerospace(Joshi and Chatterjee 2016)

POLYMER BASED ADDITIVE MANUFACTURING

Polymers are materials made up of long, repeating chains of molecules(Farah, Anderson, and Langer 2016). Polymer materials have unique properties depending on the type of molecules being attached and how they are attached. Some polymers, such as rubber and polyester, bend and stretch(Seydibeyoğlu et al. n.d.). Others are tough and durable, such as epoxies and glass. Polymers touch almost every aspect of modern life. Probably most people have been in contact with at least one polymer-containing product in the past five minutes, from water bottles to tools to tires.

THERMOSET AND THERMOPLASTICS

Polymer materials have a variety of chemical and mechanical properties that will be useful for a wide variety of applications. However, plastic waste creates pollution and is a great threat due to the problem of non-degradability affecting ecological environments(Alberto 2013). Thermoplastic or thermoset materials can be processed in additive manufacturing. Table 1 includes examples of polymer matrix materials used in the aerospace industry. Thermoset polymers, which are used extensively in the polymer industry today, have recycling problems(Zhao et al. 2018). This situation creates serious environmental problems. The most important feature of thermoplastic materials is that they can be recycled. The use of thermoplastic polymers creates significant advantages in recycling and environmental issues. The rapid evolution in additive manufacturing provides a new path to the circular economy using recycling. Additive manufacturing plays an important role in reducing plastic pollution in the world. Products made from recycled materials provide a concrete example of how we can reduce plastic pollution around the world. It is known that 86% of ocean pollution is plastic and creates a toxic environment for sea creatures(Landrigan et al. 2020). Recycling plastics is today's most important and rapidly should be resolved issue. The most preferred method in the production of polymer products by additive manufacturing is the fused filament fabrication (FFF) method, which is included in the material extrusion head(Lanzotti et al. 2019).

Products printed with the FFF method using polymers such as acrylonitrile butadiene styrene (ABS)(Ahn et al. 2002), polylactic acid (PLA)(Bardiya, Jerald, and Satheshkumar 2021), and polycarbonate (PC)(Cicala et al. 2018), show low mechanical properties. This situation limits the applications in the field of engineering. The production of high-performance polymers such as Polyetheretherketone (PEEK)(Stepashkin et al. 2018), and Polyetherketoneketone (PEKK)(De Leon et al. 2016) increases the application

areas. However, these polymers are very expensive and difficult to process with the FFF method due to their high melting temperatures. It is not possible to process these polymers with every device, a special device is needed. For this reason, short fiber-reinforcement polymer materials have the potential to eliminate these constraints. By adding short fiber reinforcement to polymers, their mechanical properties can be increased(Ivey et al. 2017). Materials such as PEEK and PEKK have a special place in aerospace applications(Barile, Casavola, and De Cillis 2019). If they are reinforced with fiber, they can be used in different areas.

Table 1. Polymer Matrix for Aerospace Composites

	Thermoset	Thermosplastic	Elastomer
Properties	High stiffness and strength	Better impact resistance	Excellent impact resistance
	Adhesion properties	Higher fracture toughness	Very high elongation
Moderate stiffness and strength		Low stiffness and strength	
Examples	Epoxy Polyester Bismaleimide Vinyl ester	Polyamide Polyether ketone (PEK) Polyether ketone ketone (PEKK)	Polyurethane Rubber

ADDITIVE MANUFACTURING

Additive Manufacturing Methods, also known as three-dimensional printing, are defined as the processing of computer-aided drawing models (CAD models) by adding materials on top of each other in layers, unlike traditional machining methods(Agarwal et al. 2020). Additive manufacturing methods are used in many different industries for the purpose of developing prototypes and even producing final products. The basic principles of additive manufacturing methods are included in the ISO/ASTM 52900:2015 standard(ASTM International ISO/ASTM 2013). The methods which join materials layer by layer by adding are divided into different categories depending on the working principle, the type of material used, and the type of energy. In the American Society for Testing and Materials (ASTM) standard, which is based on the production process, additive manufacturing methods are classified into seven different categories. These; Binder Jetting, Directed Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination, and photopolymerization. In addition to ASTM classification, the cold spray method has been developed and used in recent years(Gibson, Rosen, and Stucker

2015). The cold spray additive manufacturing method is a solid-state deposition process in which solid powders are accelerated towards the substrate through a nozzle(Yin et al. 2018). The deposition of powders takes place without melting in the sprayed particles. Table 2 includes additive manufacturing methods and their definitions.

Table 2. ASTM Additive Manufacturing Methods (* Added in addition to ASTM classification.)

Methods	Description
Binder Jetting	A liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials
Directed Energy Deposition	Focused thermal energy is used to fuse materials by melting as the material is deposited
Material Extrusion	Material is selectively dispensed through a nozzle or orifice
Material Jetting	Droplets of build material are selectively deposited
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fuses regions of a powder bed
Sheet Lamination	Material sheets are bonded to form an object
Photopolymerization	Liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerisation
Cold Spray *	Powdered material is propelled at a substrate at a sufficiently high velocity to cause adhesion and material build-up

The main methods preferred in the production of polymer products by articulated manufacturing methods are FFF and Stereolithography (SLA) in the material extrusion category, selective laser sintering (SLS) in the powder bed fusion category, and the binder jetting process known as 3D printing technology (3DP). The most popular method preferred for shaping polymers with additive manufacturing is the FFF method. Figure 5 contains the working principle of the FFF method.

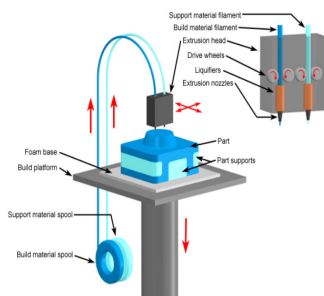


Figure 5. Illustration of fused filament fabrication (Anon n.d.)

POLYMER BASED AM IN AEROSPACE

The material types of polymer raw materials used in additive manufacturing methods are classified as solid, liquid, and powder (Tofail et al. 2018). A wide variety of polymers such as Acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polylactic acid (PLA), polycarbonate (PC), Polyamide (PA), Polyetheretherketone (PEEK), and Polyetherketoneketone (PEKK) can be processed as additive raw materials with the FFF method.

REINFORCEMENTS

Reinforcements made to improve the strength properties of polymer materials can be realized as fibers, particles, and structural associations. As seen in Figure 6, the fibers can be continuous or short according to their length. In addition, the fibers used for reinforcement are divided into two as natural and synthetic (Rahman and Putra 2019), as detailed in Table 3.

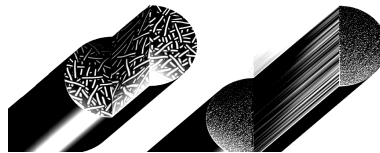


Figure 6. Long fibers and short fibers in Matrix

Table 3. Fiber Types

FIBERS				
Natural Fibers			Synthetic Fibers	
Animal	Cellulose	Mineral	Organic	Inorganic
Silk	Jute	Asbestos	Aramid	Glass
Wool	Flax		Polyethylene	Carbon
Hair	Hemp		Polyester	Boron
	Kenaf			Aramid
	Wood			
	Cotton			
	Stalk			
	Bamboo			

Lightness is a concept that affects the technical and economic performance of structural parts of aircraft. The strengths under load expected

from structural parts are limited to certain safety factors. These data, which are important for aviation safety, also primarily affect performance (Arockiam, Jawaid, and Saba 2018). Thanks to fiber reinforcement in additive manufacturing technology, the negative effects of mass reduction on mechanical performance can be minimized.

APPLICATIONS

Additive manufacturing methods create significant opportunities in the aerospace and defense industries where the number of productions is low, parts with complex geometry and topology optimization are intense. The Royal Netherlands Air Force manufactures the equipment and tools used in maintenance and repair at bases with additive manufacturing methods. They make fixtures and alignment tools using the FFF method.



Figure 7. Custom tools designed for performing quality control by Royal Air Force (Anon n.d.)

Swedish defense company Saab is testing parts produced with FFF technology in Gripen warplanes. Advanced Composite Structures company has started to use the fixtures it has produced with a 3D printer as a guide for drilling holes in the helicopter wing.



Figure 8. Hole drilling fixture manufactured by Advanced Composite Structures company by FFF (Anon n.d.)



Figure 9. Flies 3D Printed Replacement Part for Gripen Fighter Jet (Anon n.d.)

In a project funded by the Technology Strategy Board (TSB) for Virgin Atlantic airline, the design of an arm that holds the TV monitor on the airline's first-class seats was remade for additive manufacturing. With the lattice structure, the weight of the arm has been reduced by 50%. It is stated that the aircraft will save 20,000 liters of Jet A1 fuel during its 30-year flight life(Hikmet Karakoc et al. 2016).



Figure 10. The arm holding the TV monitor in the airline's Upper Class Seats (Dzhenzhera 2013)

4D PRINTING TECHNOLOGIES

The concept of 4D printing is a new phenomenon that has entered the literature in recent years. The 4th dimension expresses the concept of time(Ning et al. 2015). After the material is produced, the material changes shape after it is actioned by an external stimulus such as heat, temperature, light, or humidity with the additions added during the production or design tricks made in geometry(Kuang et al. 2019). When this stimulus disappears, it returns to its original state. Adaptation of this technology to aviation is theoretically possible and at a level that can create many benefits in practice. Depending on the speed of the aircraft, the required optimum wing area value can be

changed(Ntouanoglou, Stavropoulos, and Mourtzis 2018). The parts produced with 4D printing technology to be used in the wings can be stimulated according to the speed of the aircraft and create the necessary space change. In this way, both the performance of the aircraft can be increased, can also benefit from fuel economy. In addition, carbon emissions can be reduced.

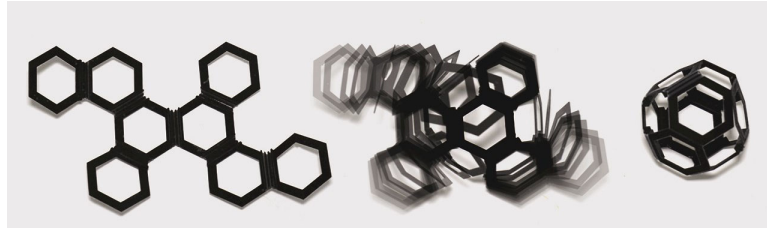


Figure 11. 4D printed self-folding truncated octahedron demonstrating the "transformation over time" when submerging in water (Anon n.d.)

RESULTS

The use of polymer materials used in the field of aerospace in additive manufacturing technologies plays an effective role in lightening and shortening the supply chain.

Additive manufacturing technologies create opportunities to improve the performance of parts and eliminate design constraints with the lattice structure production capability, the production process from one to the other. With additive manufacturing technologies, parts that are almost half of the original weight can be produced. Thanks to topology optimization in the aerospace industry, weight reduction can be achieved without compromising the performance and function of the part. However, when traditional production methods are considered, it is necessary to pay attention to the formation of complex geometry, which makes production difficult because of topology optimization. Thanks to additive manufacturing technologies, it is possible to eliminate all these restrictions. In addition, weight reduction is an application that directly reduces flight costs, increases payload carrying capacity, and reduces carbon emissions. It is very difficult to implement the 3d design that will emerge with topology optimization, together with traditional manufacturing methods. Additive manufacturing technology contributes to the implementation of more innovative and futuristic designs.

In additive manufacturing methods, the production process is independent of the geometry of the object to be manufactured and provides advantages in assembly time and supply chain. The production of monolithic

structures in aircraft part manufacturing with additive manufacturing technologies shortens the assembly time and reduces man-hour costs. It paves the way to produce equipment, and tools used in the aircraft maintenance, repair, and overhaul sector, regardless of time and place, and the design and production of equipment that will minimize the human factor in aircraft manufacturing, structural maintenance, and repair issues, quickly and at affordable costs. By shortening the supply chain, it enables on-site production.

The geometries of the parts produced in traditional manufacturing methods directly affect the number of processes in the production processes. In traditional production methods, the cost per unit of the parts produced increases as the geometric complexity increases. In addition, it may not be possible to produce parts as a single piece. In this case, the issue of assembly comes to the fore. In additive manufacturing methods, it is completely independent of the design geometry. For this reason, unit production cost is fixed in additive manufacturing methods. In addition, parts with complexity that cannot be produced with traditional manufacturing methods can be produced at the same unit costs.

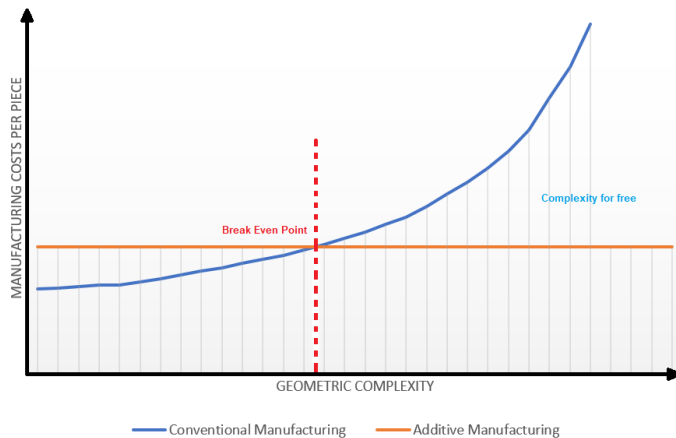


Figure 12. Comparison of Geometric Complexity-Cost Per Piece

While the increase in the number of parts in traditional manufacturing methods reduces production costs depending on the production volume, the cost per piece in the additive manufacturing method is independent of the production volume. An optimization to be made regarding the number of parts in the production volume may reveal situations where the additive manufacturing method is more advantageous. As seen in the figure 13, in the sections before

the intersection point, the traditional production methods cause high costs. Due to the low number of parts in the production volume of the aerospace and defense industry, it causes high part costs in production with traditional production methods. Additive manufacturing methods have the potential to reduce costs in this context.

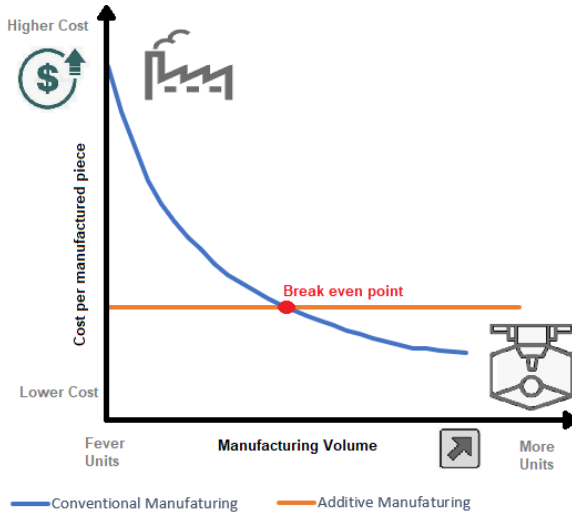


Figure 13. Comparison of Cost-Manufacturing Volume

FUTURE TREND

Beyond the concept of three-dimensional manufacturing with additive manufacturing technologies, “four-dimensional printing (4D Printing)” technologies emerge as a new generation additive manufacturing phenomenon that has been put into practice today. The 4D phenomenon in additive manufacturing technologies; smart materials are developed depending on the functionality of additive manufacturing machines and the design processes specific to the manufacturing method. In 4D technologies, where the concept of 'time', which is the 4th dimension, is used, time is not a continuity, but a shape-shifting function depending on the effect. Time in the deformation function here; includes variables such as light, temperature, humidity. In short, with the effect of time in 4D technologies, the material becomes intelligent and programmable. Materials can function according to ambient conditions without any external intervention. Shape memory materials will provide benefits in increasing the aerodynamic efficiency of shape change depending on speed, temperature, and altitude.

REFERENCES

- Agarwal, Prajwal P., Tejas S. Dadmode, Mahesh R. Kadav, Amey P. Ogale, and P. P. Mangave. 2020. "Experimental Analysis of Mechanical Properties of PETG Material 3D Printed Material by Using Fused Deposition Modelling Technique." *Journal of Mechanical and Mechanics Engineering* 6(1):20–27.
- Ahn, Sung Hoon, Michael Montero, Dan Odell, Shad Roundy, and Paul K. Wright. 2002. "Anisotropic Material Properties of Fused Deposition Modeling ABS." *Rapid Prototyping Journal* 8(4):248–57. doi: 10.1108/13552540210441166.
- Alafaghani, Ala'aldin, Ala Qattawi, Buraaq Alrawi, and Arturo Guzman. 2017. "Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-Manufacturing Approach." *Procedia Manufacturing* 10:791–803. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.079.
- Alberto, Martin. 2013. "Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes." *Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair* 3–40. doi: 10.5772/54629.
- Anon. n.d. "3D Printed Manufacturing Aids, Tooling, Jigs and Fixtures :: Additive Flight Solutions." Retrieved November 9, 2021a (<https://www.additiveflightsolutions.com/our-solution/manufacturing-aids-and-tooling/>).
- Anon. n.d. "Fused Deposition Modeling (FDM)." Retrieved November 9, 2021b (<https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling/>).
- Anon. n.d. "Les Matériaux Composites : Fibre de Carbone Ou de Verre ? - Makershop." Retrieved November 9, 2021c (<https://www.makershop.fr/blog/materiaux-composites-fibre-carbone-ou-fibre-verre/>).
- Anon. n.d. "Royal Netherlands Air Force: Speeding up Maintenance with 3D Printed Tools." Retrieved November 9, 2021d (<https://ultimaker.com/learn/royal-netherlands-air-force-speeding-up-maintenance-with-3d-printed-tools>).
- Anon. n.d. "Saab Test Flies 3D Printed Replacement Part for Gripen Fighter Jet - 3DPrint.Com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing." Retrieved November 9, 2021e (<https://3dprint.com/280320/saab-test-flies-3d-printed-replacement-part-for-gripen-fighter-jet/>).
- Anon. n.d. "Self-Assembly Lab." Retrieved November 9, 2021f (<https://selfassemblylab.mit.edu/>).
- Araya-Calvo, Miguel, Ignacio López-Gómez, Nicolette Chamberlain-Simon, José Luis León-Salazar, Teodolito Guillén-Girón, Juan Sebastián Corrales-Cordero, and Olga Sánchez-Brenes. 2018. "Evaluation of Compressive and Flexural Properties of Continuous Fiber Fabrication Additive Manufacturing Technology." *Additive Manufacturing* 22(May):157–64. doi: 10.1016/j.addma.2018.05.007.
- Arockiam, Naveen Jesu, Mohammad Jawaid, and Naheed Saba. 2018. *Sustainable Bio Composites for Aircraft Components*. Elsevier Ltd.
- ASTM. 2015a. *ASTM F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*.
- ASTM. 2015b. "BS ISO ASTM 52900:2015 Additive Manufacturing General Principles Terminology." ASTM 2015.

- ASTM. 2017. "Global Leader in Additive Manufacturing Standards." ASTM 1–11.
- ASTM International ISO/ASTM, 52921-13. 2013. Standard Terminology for Additive Manufacturing- Coordinate Systems and Test Methodologies,.
- Bardiya, Shrikant, J. Jerald, and V. Satheeshkumar. 2021. "Effect of Process Parameters on the Impact Strength of Fused Filament Fabricated (FFF) Polylactic Acid (PLA) Parts." *Materials Today: Proceedings* 41:1103–6. doi: 10.1016/J.MATPR.2020.08.066.
- Barile, C., C. Casavola, and F. De Cillis. 2019. "Mechanical Comparison of New Composite Materials for Aerospace Applications." *Composites Part B: Engineering* 162(November 2018):122–28. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.10.101.
- Brale, Daniel, Anthony Tamayo, and Eric Barnes. 2019. "Continuous Fiber Filament For Fused Deposition Modeling (FDM) Additive Manufactured (AM) Structures."
- Cicala, Gianluca, Giulia Ognibene, Salvatore Portuesi, Ignazio Blanco, Mario Rapisarda, Eugenio Pergolizzi, and Giuseppe Recca. 2018. "Comparison of Ultem 9085 Used in Fused Deposition Modelling (FDM) with Polytherimide Blends." *Materials* 11(2).
- Delgado Camacho, Daniel, Patricia Clayton, William J. O'Brien, Carolyn Seepersad, Maria Juenger, Raissa Ferron, and Salvatore Salamone. 2018. "Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry – A Forward-Looking Review." *Automation in Construction* 89(August 2017):110–19. doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.031.
- Dzhenzhera, Georgy. 2013. "Additive Manufacturing: Opportunities and Constraints." Royal Academy of Engineering.
- Farah, Shady, Daniel G. Anderson, and Robert Langer. 2016. "Physical and Mechanical Properties of PLA, and Their Functions in Widespread Applications — A Comprehensive Review." *Advanced Drug Delivery Reviews* 107:367–92. doi: 10.1016/j.addr.2016.06.012.
- Frketic, Jolie, Tarik Dickens, and Subramanian Ramakrishnan. 2017. "Automated Manufacturing and Processing of Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites: An Additive Review of Contemporary and Modern Techniques for Advanced Materials Manufacturing." *Additive Manufacturing* 14:69–86.
- Ghaffar, Seyed Hamidreza, Jorge Corker, and Mizi Fan. 2018. "Additive Manufacturing Technology and Its Implementation in Construction as an Eco-Innovative Solution." *Automation in Construction* 93(May):1–11. doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.005.
- Gibson, Ian, David Rosen, and Brent Stucker. 2015. *Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*.
- Hikmet Karakoc, T., M. Baris Ozerdem, M. Ziya Sogut, Can Ozgur Colpan, Onder Altuntas, and Emin Açikkalp. 2016. "Sustainable Aviation: Energy and Environmental Issues." *Sustainable Aviation: Energy and Environmental Issues* 1–423. doi: 10.1007/978-3-319-34181-1.
- Ivey, Marcus, Garrett W. Melenka, Jason P. Carey, and Cagri Ayranci. 2017. "Characterizing Short-Fiber-Reinforced Composites Produced Using Additive Manufacturing." *Advanced Manufacturing: Polymer and Composites Science* 3(3):81–91. doi: 10.1080/20550340.2017.1341125.

- Joshi, M., and U. Chatterjee. 2016. "Polymer Nanocomposite." Pp. 241–64 in *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering*. Elsevier.
- Keshavamurthy, Ramaiah., Vijay Tambrallimath, and Davan. Saravanabavan. 2021. *Development of Polymer Composites by Additive Manufacturing Process*. Elsevier Ltd.
- Kuang, Xiao, Devin J. Roach, Jiangtao Wu, Craig M. Hamel, Zhen Ding, Tiejun Wang, Martin L. Dunn, and Hang Jerry Qi. 2019. "Advances in 4D Printing: Materials and Applications." *Advanced Functional Materials* 29(2):1805290. doi: 10.1002/ADFM.201805290.
- Landrigan, Philip J., John J. Stegeman, Lora E. Fleming, Denis Allemand, Donald M. Anderson, Lorraine C. Backer, Françoise Brucker-Davis, Nicolas Chevalier, Lilian Corra, Dorota Czerucka, Marie Yasmine Dechraoui Bottein, Barbara Demeneix, Michael Depledge, Dimitri D. Deheyn, Charles J. Dorman, Patrick Fénelichel, Samantha Fisher, Françoise Gaill, François Galgani, William H. Gaze, Laura Giuliano, Philippe Grandjean, Mark E. Hahn, Amro Hamdoun, Philipp Hess, Bret Judson, Amalia Laborde, Jacqueline McGlade, Jenna Mu, Adetoun Mustapha, Maria Neira, Rachel T. Noble, Maria Luiza Pedrotti, Christopher Reddy, Joacim Rocklöv, Ursula M. Scharler, Hariharan Shanmugam, Gabriella Taghian, Jeroen A. J. M. Van De Water, Luigi Vezzulli, P. Weihe, Ariana Zeka, Hervé Raps, and Patrick Rampal. 2020. "Human Health and Ocean Pollution." *Annals of Global Health* 86(1):1–64. doi: 10.5334/AOGH.2831/METRICS/.
- Lanzotti, Antonio, Massimo Martorelli, Saverio Maietta, Salvatore Gerbino, Francesco Penta, and Antonio Gloria. 2019. "A Comparison between Mechanical Properties of Specimens 3D Printed with Virgin and Recycled PLA." *Procedia CIRP* 79:143–46. doi: 10.1016/j.procir.2019.02.030.
- De Leon, Al C., Qiyi Chen, Napolabel B. Palaganas, Jerome O. Palaganas, Jill Manapat, and Rigoberto C. Advincula. 2016. "High Performance Polymer Nanocomposites for Additive Manufacturing Applications." *Reactive and Functional Polymers* 103:141–55. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2016.04.010.
- Li, Nanya, Yingguang Li, and Shuting Liu. 2016. "Rapid Prototyping of Continuous Carbon Fiber Reinforced Polylactic Acid Composites by 3D Printing." *Journal of Materials Processing Tech.* 238:218–25. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.07.025.
- Mazzanti, Valentina, Lorenzo Malagutti, and Francesco Mollica. 2019. "FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of Their Mechanical Properties." *Polymers* 11(7). doi: 10.3390/polym11071094.
- Mirzendehdel, Amir M., and Krishnan Suresh. 2016. "Support Structure Constrained Topology Optimization for Additive Manufacturing." *Computer-Aided Design* 81:1–13. doi: 10.1016/J.CAD.2016.08.006.
- Ning, Fuda, Weilong Cong, Jingjing Qiu, Junhua Wei, and Shiren Wang. 2015. *Additive Manufacturing of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites Using Fused Deposition Modeling*. Vol. 80. Elsevier Ltd.
- Ntouanoglou, Kyriakos, Panos Stavropoulos, and Dimitris Mourtzis. 2018. "4D Printing Prospects for the Aerospace Industry: A Critical Review." *Procedia Manufacturing* 18:120–29. doi: 10.1016/J.PROMFG.2018.11.016.

- Parandoush, Pedram, and Dong Lin. 2017. "A Review on Additive Manufacturing of Polymer-Fiber Composites." *Composite Structures* 182:36–53. doi: 10.1016/j.compstruct.2017.08.088.
- Park, Soyeon, and Kun (Kelvin) Fu. 2021. "Polymer-Based Filament Feedstock for Additive Manufacturing." *Composites Science and Technology* 213(January):108876. doi: 10.1016/j.compscitech.2021.108876.
- Rahman, Rozyanty, and Syed Zhafer Firdaus Syed Putra. 2019. "Tensile Properties of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Polymer Composites." *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* 81–102. doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00005-9.
- Redwood, Ben, Filemon Schöffner, and Brian Garret. 2017. *The 3D Printing Handbook*. 3D Hubs.
- Saracyakupoglu, Tamer. 2019. "The Qualification of the Additively Manufactured Parts in the Aviation Industry." *American Journal of Aerospace Engineering* 6(1):1–10. doi: 10.11648/j.ajae.20190601.11.
- Seydibeyoğlu, M. Özgür, Alperen Doğru, M. Batıkan Kandemir, and Özay Aksoy. 2020. "Lightweight Composite Materials in Transport Structures." Pp. 103–30 in *Lightweight Polymer Composite Structures*, edited by J. P. S. K. Sanjay Mavinkere Rangappa. CRC Press.
- Seydibeyoğlu, M. Özgür, Fatma Erdoğan, and Elif Alyamaç. n.d. "Thermoplastic and Thermoset Polymers." 1–8. doi: 10.1201/9781351019422-140000331.
- Shah, Darshil U., Peter J. Schubel, and Mike J. Clifford. 2013. "Can Flax Replace E-Glass in Structural Composites? A Small Wind Turbine Blade Case Study." *Composites Part B: Engineering* 52:172–81. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.04.027.
- Shoeb, Mohd, Lokesh Kumar, and Prof Abid Haleem. 2020. "An Overview of Additive Manufacturing Technologies." 40(10):441–50.
- Stepashkin, D. I. Chukov, F. S. Senatov, A. I. Salimon, A. M. Korsunsky, and S. D. Kaloshkin. 2018. "3D-Printed PEEK-Carbon Fiber (CF) Composites: Structure and Thermal Properties." *Composites Science and Technology* 164:319–26. doi: 10.1016/j.compscitech.2018.05.032.
- Tawfik, Basem E., Heba Leheta, Ahmed Elhewy, and Tarek Elsayed. 2017. "Weight Reduction and Strengthening of Marine Hatch Covers by Using Composite Materials." *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 9(2):185–98. doi: 10.1016/J.IJNAOE.2016.09.005.
- Tofail, Syed A. M., Elias P. Koumoulos, Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose, Lisa O'Donoghue, and Costas Charitidis. 2018. "Additive Manufacturing: Scientific and Technological Challenges, Market Uptake and Opportunities." *Materials Today* 21(1):22–37. doi: 10.1016/J.MATTOD.2017.07.001.
- Uriondo, Adrián, Manuel Esperon-Miguez, and Suresh Perinpanayagam. 2015. "The Present and Future of Additive Manufacturing in the Aerospace Sector: A Review of Important Aspects." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering* 229(11):2132–47. doi: 10.1177/0954410014568797.

- Wong, Kaufui V., and Aldo Hernandez. 2012. "A Review of Additive Manufacturing." *ISRN Mechanical Engineering* 2012:1–10. doi: 10.5402/2012/208760.
- Yin, Shuo, Pasquale Cavaliere, Barry Aldwell, Richard Jenkins, Hanlin Liao, Wenya Li, and Rocco Lupoi. 2018. "Cold Spray Additive Manufacturing and Repair: Fundamentals and Applications." *Additive Manufacturing* 21:628–50. doi: 10.1016/J.ADDMA.2018.04.017.
- Zhao, Peng, Chengchen Rao, Fu Gu, Nusrat Sharmin, and Jianzhong Fu. 2018. "Close-Looped Recycling of Polylactic Acid Used in 3D Printing: An Experimental Investigation and Life Cycle Assessment." *Journal of Cleaner Production* 197:1046–55. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.275.
- Zhu, Ji Hong, Wei Hong Zhang, and Liang Xia. 2016. "Topology Optimization in Aircraft and Aerospace Structures Design." *Archives of Computational Methods in Engineering* 23(4):595–622. doi: 10.1007/s11831-015-9151-2.

OTOPİLOT EĞİTİM SETİNİN UÇUŞ SİMÜLATÖRÜNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Mümin TUTAR, Mehmet KARAKOÇAN

GİRİŞ

İnsanlar, çok eski zamanlardan beri uçmayı hedeflemişlerdir. Kuşların yapılarını inceleyip, o yapıda kanatlar tasarlayıp yüksek yer veya kulelerden uçmaya çalışmışlardır. Bunların bazıları bu denemelerde hayatlarını kaybetmiş, bazıları da bir süre havada kalıp yere inmeyi başarmışlardır. Fakat bu çabaların sonucunda Amerikalı Wilbur ve Orville kardeşler 17 Aralık 1903 tarihinde 12 saniye, 1905 de ise 38 dakika havada kalarak uçmayı başarmışlardır (Wegener, 1991).

Bu denemeler ve başarılı çalışmalardan sonra hava taşıtı olarak kabul edilen uçakların yapımı hızla ilerlemeye ve gelişmeye başlamıştır. En sonunda da bugünkü modern şeklini kazanan uçaklar ulaşım, can kurtarma, tarım ve özellikle de askeri alanlarda günümüzün vazgeçilmez ulaşım araçları arasında yerlerini almışlardır (Havacılığın Önemi, 2019).

Eğitimde uzun süre öğretimin temelini öğretmen ve ders kitabı oluşturmuştur. Ancak bugün teknolojik imkânlar sayesinde öğretmen ve ders kitaplarının yanı sıra birçok kaynak ya da materyalle çok ortamlı öğrenme imkânı yaratılmaktadır. Eğitimde materyal kullanımı, etkili bir öğretim ortamı yoluyla öğrencilerin hedeflere ulaşmasında ve yürütülen programın başarılı olmasında önemli bir rol oynar. Özellikle fen ve teknoloji öğretim programlarının başarısı için eğitim sürecinde materyal kullanımı yaşamsal derecede önemlidir. Yani eğitim ortamlarında istenilen sonuçların elde edilebilmesi için; öğrencilerin yaratıcı düşüncelerini ön plana çıkaran yöntem ve tekniklerin kullanılması, farklı etkinliklere yer verilmesi, eğitim programlarına uygun olarak hazırlanmış ders araç-gereçlerinin kullanılması ve öğretim teknolojilerine uygun şekilde hazırlanan öğretim materyallerinden yararlanılması zorunluluk arz etmektedir. Yapılan çalışmalar öğretim materyallerinin ilgi ve dikkat çektiğini, bilgiyi somutlaştırdığını ve öğrenciyi güdülediğini göstermiştir (Şahin, 2014; Kaya, 2006; Bozpolat ve Arslan, 2018).

Buradan hareketle havacılık gibi önemli teknolojinin daha ileri seviyelere çıkarılması için havacılık eğitimlerinde kullanılan materyallerin gelişiminde oldukça önemlidir. Aviyonik alanı için geliştirilmiş pek çok eğitim seti bulunmaktadır. Bunlar, ileri düzey kokpit eğitim seti, kabin görevlileri eğitim seti,

otopilot eğitim seti, türbin yakıt sistemi eğitim seti, yangın ikaz eğitim seti, oksijen eğitim seti, uçak elektrik eğitim seti, otomatik fren eğitim seti, hidrolik iniş takımı eğitim seti, hava aracı fren eğitim seti, yağmur ve buz önleme eğitim seti, gaz türbinli jet motoru eğitim seti, uçak motoru eğitim seti, hava radarı eğitim seti ve benzeri setlerdir (Adf Science, 2019). Yapılan literatür taramasında 1930 yılında Edin Albert tarafından geliştirilmiş olan Blue Box isimli simülasyon eğitim amaçlı sunulmuş ilk ticari uçak simülatörüdür (Myers III, 2018). Bunun dışında düşük maliyetli mikroişlemci tabanlı geliştirilen bir eğitim seti literature kazandırılmıştır (Edwards, 1986). Bir başka çalışma Allerton tarafından gerçek zamanlı bir uçuş kontrol simülasyonu uygulamasıdır (Allerton, 1999). Görüldüğü üzere uçuş simülasyonları üzerine pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür (Orlansky, 1980; Huettig, 1994; Huang, 2005). Teknolojideki gelişmeler ile AP-100A otopilot eğitim seti, K&H AT-11007-A - Havacılık Eğitim Seti (Adf Science, 2019) gibi daha gelişmiş uçak simülasyon eğitim setlerine rastlamak mümkündür. Bu bildiri ise Aero Train firmasına ait APT-04A (Aero Train, 2019) model numaralı 3 eksenli otopilot eğitim seti üzerinden alınan kuyruk (rudder), arka kanat (elevator) ve ön kanat (aileron) hareketlerinin bir uçak simülasyonu yazılımı ile LCD ekrandan interaktif olarak izlenmesi ve simülasyonu sağlanmıştır. Bu sayede öğrencinin kumanda yüzeylerinin hareketini aynı zamanda görsel olarak kavraması hedeflenmiştir. Flight Director üzerinde bulunan suni ufuk durumunu LCD ekran üzerinde de görmesi sağlanacaktır.

Bu bildiri şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 2'de dönüşümünü gerçekleştirdiğimiz otopilot eğitim seti hakkında bilgilendirmeler verilmiştir. Bölüm 3'te otopilot eğitim setinin uçuş simülasyonuna dönüşüm yönteminden bahsedilmiştir. Bölüm 4'te ise sonuçlar sunulmuştur.

OTOPİLOT EĞİTİM SETİ

Bu bildiri dönüşümü sağlanan Aero Train firmasına ait APT-04A model numaralı 3 eksenli otopilot eğitim seti Şekil 1'de görülmektedir. Bu eğitim seti Honeywell firması tarafından üretilen ve bazı uçaklarda kullanılan KFC 225 dijital otomatik pilot sistemini kullanmaktadır. KFC 225 irtifayı önceden ayarlayarak yatay, dikey ve uçağın sağa ve sola dönüş modunu sağlayan üç boyutlu bir sistemdir. KC225'in en önemli özelliği bilgisayarı, mod seçiciyi, irtifa ayarlayıcıyı, uçağın sağa sola dönüşünü (Roll) kontrol eden aleti birleştiren, hafif ve entegre otomatik pilot olmasıdır. KC 225 otomatik pilot bilgisayarı bütünlük bir sistemin parçasıdır ve otomatik pilot operasyonunu kontrol eden yarı iletken dijital bir ünitedir.

APT-04A model otomatik pilot eğitim seti aşağıdaki ana öğeleri içerir:

1. Pusulaya bağlı olan otomatik pilot sistemi, eksenel gyros ve statik basıncı simüle eder. (çeşitli irtifalarda simüle eder)

2. Bir stand üzerine monte edilmiş kumanda yüzeyleri hareketli uçak modeli.

3. Mekanizma kontrol kutusuna yerleştirilmiş aksenal hareket, uçağın sağa sola dönmesi ve kontrol merkezi

4. Kontrol mekanizması, model uçağa kontrol yüzeyindeki hareketler için, kontrol halatları aracılığıyla bağlıdır. (aileron, elevators, rudder ve trim tab)

5. Gerçek uçaklarda bulunan kontrol kolu ve rudder pedalının aynısını içerir.

Otomatik pilot eğitim seti araçları KC225'e ek olarak, (KI-256) Flight Director ve (KG-102A) pusula sistemi içeren Directional Gyro, (KMT 112) Magnetic Flux Detector, (KA 51B) Slaving Accessory ve (KI-525A) Horizontal Situation Indicator içerir. Otomatik pilot servoları uçuş kontrollerini KC225' ten gelen komutlara göre düzenler. Yaw rate gyro (KRG-331) uçağın sağa sola dönüş oranını, yaw damper işlemi için algılar.

Şekil 1'de görülen eğitim setinin üzerine yerleştirilmiş olan model uçağın kanat hareketleri sistem üzerindeki kontrol kolu ve rudder pedalı ile mekanik olarak sağlanmaktadır. Kanatlara hareket iletimi çelik halatlar ve kaydıraç sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada bu mekanik hareketlerin bir bilgisayar sistemi üzerinde kurulu olan uçuş simülatörüne aktarımı ve kontrol kumandası ile verilen hareket komutlarının bilgisayar ortamında gözlenmesi sağlanmıştır.



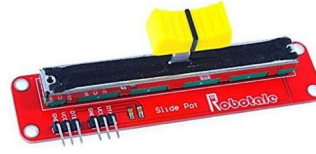
Şekil 1. Otopilot Eğitim Seti

MEKANİK HAREKETLERİN UÇUŞ SİMÜLATÖRÜNE AKTARILMASI

Otopilot eğitim setinde manuel olarak kontrol edilebilen elevator, aileron ve rudder hareketlerinin eğitim seti üzerinden alınması, throttle kontrolünün ise dışarıdan ilave edilmesi planlanmıştır. Böylelikle, 4 kanalın simülasyon yazılımına aktarılması gerekli olmuştur. Bu hareketler kontrol hatları ile servolara ve eğitim seti üzerinde bulunan model uçağın kontrol yüzeylerine iletilmektedir. Servolar üzerinde, aktarılan hareket rotasyonel iken kontrol yüzeylerine giden hatların hareketi doğrusaldır. Burada, doğrusal hareketlerin algılanması ve simülator uygulamasına iletilmesi yolu tercih edilmiştir.



Şekil 2. Oyun Kolu



Şekil 3. Doğrusal Sürgü Potansiyometre

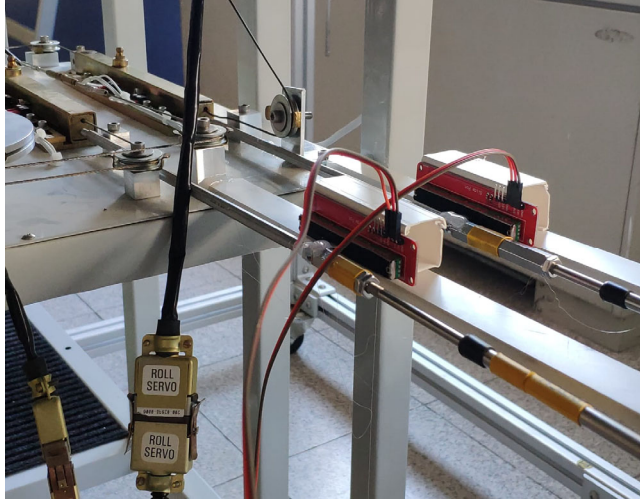
Doğrusal hareketleri çeşitli mesafe ölçerler vasıtasıyla algılamak mümkündür. Bu görevi yerine getirebilecek sensörlere örnek olarak; ultrasonik sensörler, lazer mesafe ölçerler, potansiyometrik doğrusal cetveller, LVDT'ler ve ipli deplasman sensörleri verilebilir. İlgili kontrol kumandasının kontrol hatları üzerinde oluşturduğu doğrusal hareketin miktarı bu sensörlerden biri kullanılarak kolaylıkla okunabilir. Böylece uygun forma dönüştürülmüş sinyalleri uçuş simülatorüne aktarmak mümkündür.

Bu çalışmada ölçülecek olan fiziksel büyüklüklerin bilgisayara aktarılması, Şekil 2'de görülen standart bir oyun kolunun arayüz olarak kullanılmasıyla sağlanmıştır. Bu arayüz analog sayısal dönüşümler ve sinyallerin bilgisayar ortamı için uygun şartlara getirilmesi görevlerini üstlenmektedir. Oyun kolu, üzerinde bulundurduğu 2 adet joystick ve bunlara bağlı 4 adet 10 kOhm'luk potansiyometre ile analog bilgi üretebilmektedir. Eğitim setinde hareketleri sağlayan hatlar üzerinde ölçülecek olan hareketin oyun koluna aktarılmasındaki muhtemel sinyal uyumsuzlukları, dönüştürme problemleri gibi sorunları yaşamamak ve çalışmayı amaca uygun olarak en basit şekilde sürdürmek için hareketlerin ölçümünde doğrusal sürgü potansiyometre kullanılması uygun görülmüştür. Bu seçimde hatların doğrusal hareketlere imkân vermeleri önemli bir etken olmuştur. Bu bildiride kullanılan potansiyometre elemanı Şekil 3'te verilmiştir. Bu potansiyometreler oyun konsolunda bulunanlar ile aynı direnç değerine sahip ve 8 cm uzunluğundadır.

Bu çalışmada elevatör, eleron, rudder ve throttle kontrolü olmak üzere 4 adet doğrusal sürgü potansiyometre kullanılmıştır. Bu potansiyometreler oyun kolunda bulunan potansiyometrelerin yerine geçecek şekilde gerekli devre bağlantıları yapılmıştır. Böylece hiçbir sinyal dönüştürme işlemine ihtiyaç duyulmaksızın kontrol halatlarındaki hareketler oyun kolu üzerinden simülasyon yazılımına aktarılmıştır.

Bu çalışmada simülasyon yazılımı olarak Microsoft Flight Simulator X kullanılmıştır. Eğitim seti üzerinde manuel kontrol edilen hareketlerin miktarları farklı kanallar için birbirinden farklı olduğundan potansiyometrelerin belirli bir bölgesi kullanılabilmiş ve sınır noktalar simülasyon yazılımı üzerinde kalibre edilmiştir.

Uçuş simülatörüne dönüştürülmüş olan eğitim seti üzerinden eksenel hareketlerin elde edilmesine ait görüntüler sırasıyla Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Mekanik hareketlerin algılanması

SONUÇ

Mevcut havacılık eğitim setlerinin etkili öğrenme açısından önemi ve basit bir donanım ilavesi ile interaktif özellikler kazandırılması üzerine uygulamalı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda otopilot eğitim seti, aynı zamanda bir uçuş simülatörüne dönüştürülmüştür. Böylece eğitim seti üzerindeki kumandadan verilen hareketler bir bilgisayar sistemine kurulu uçuş simülatörü üzerinden interaktif olarak izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Eğitim seti bu haliyle havacılık eğitimi alan öğrencilerin konuyu daha iyi kavrayarak bilişsel

ve duyuşsal alanda son derece önemli olacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışmanın bir diğer boyutu ise var olan eğitim setinin çok düşük maliyetler ile geliştirilmesi ve daha donanımlı hale getirilmesidir. Çalışmanın devamında eğitim setinde otomatik pilot ünitesi tarafından üretilen kontrol sinyallerinin de simülatöre aktarılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Adf Science (2019), Private Participation in Infrastructure Project Database, <https://www.adfscience.com/products/teaching-equipments/aviation-training-sets/autopilot/>, [05.11.2019 tarihinde erişilmiştir.]
- Aero Train (2019), Autopilot / Automatic Flight Controls Trainer Model APT-04, <http://www.aerotrainscorp.com/apt-04.php>, [10.12.2019 tarihinde erişilmiştir.]
- Allerton, D. J. (1999), "The design of a real-time engineering flight simulator for the rapid prototyping of avionics systems and flight control systems", Transactions of the Institute of Measurement and Control, vol.21, no. 2-3, pp.51-62.
- Bozpolat E. ve Arslan A. (2018), "Öğretmen Adaylarının Öğretim Teknolojileri ve Materyal Tasarımı Dersine İlişkin Görüşleri", E-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi, Cilt: 9, Sayı: 3, 2018, ss.60-84
- Edwards, Bernell J. and A. F. H. R. Laboratory (1986), "Low-cost Avionics Simulation for Aircrew Training", Air Force Human Resources Laboratory, Air Force Systems Command.
- Havacılığın Önemi (2019), "Private Participation in Infrastructure Project Database", <https://www.nkfu.com/havaciligin-onemi/>, [05.11.2019 tarihinde erişilmiştir.]
- Huang, X. D., Y. He, W. Oyang ve Q. Zhou (2005), "Research and Implementation of HLA Based Training Aircraft Simulator", Acta Simulata Systematica Sinica, 4.
- Huettig, G. ve H. Bernard (1994) "Modern flight simulators for research applications", In Flight Simualtion Technologies Conference, p.124-128.
- Kaya Z., (2006), "Öğretim Teknolojileri Ve Materyal Geliştirme", Pegem A Yayıncılık, ISBN: 975-8792-59-8.
- Myers III, Paul L., Arnold W. Starr, Kadie Mullins (2018), "Flight Simulator Fidelity, Training Transfer, and the Role of Instructors in Optimizing Learning", International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, Vol.5, No.1, pp.1-6.
- Orlansky, J. ve, J. String (1980). "Cost-effectiveness of flight simulators for military training. AGARD Modeling and Simulation of Avionics Systems and Command", Control and Commun. 13 p(SEE N 80-19809 10-59).
- Şahin, M. (2014), "Öğretim Materyallerinin Öğrenme-Öğretme Sürecindeki İşlevine İlişkin Öğretmen Görüşlerinin Analizi", K. Ü. Kastamonu Eğitim Dergisi, 23 (3).
- Wegener, Peter P. (1991), "A Dream Comes True: The Wright Brothers and Their Predecessors", What Makes Airplanes Fly?, Springer, New York, NY.

PLM YÖNÜYLE HAVACILIK SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ

Samet ÇİL, Rüstem Barış YEŞİLAY

GİRİŞ

Geçmişten bu yana firmalarda üretilen ürünün, uygun kalitede, doğru zamanda müşteriye iletilmesi sürdürülebilirlik açısından önemli bir konu olmuştur. Küçük ölçekteki firmalarda bu süreci yönetmek kolayken firmanın iş hacmi ve çeşitliliği büyüdükçe bu sürecin yönetimi zorlaşmıştır. Eğer havacılık sektöründe faaliyet gösteriliyor ise bu sürecin önemi daha da değerli olmuştur.

PLM, süreçleri, sistemleri ve bir ürünün hammadde olarak firmaya girişinden satış sonrası teknik desteğe kadar olan iş anlayışı olarak görülmektedir. Ürün geliştirme yaparken disiplinler arası işbirliği ve takım çalışması gerekir.

PLM ile tüm disiplinlerin verileri ortak bir platformda toplanabilmekte, paydaşların bilgiye erişimi ve iletişimi kolaylaşabilmekte, kesintisiz işbirlikleri ile yaratıcılık artırılabilen, çeşitli standartlara uygun üretim, süreç yürütülebilme ve hataya sebebiyet verebilecek bilgiler ortadan kaldırılabilmektedir (Kiper, 2012:12)

Tedarik zinciri, PLM süreçlerinin içerisinde yer alan en önemli süreçlerdendir. Üreticinin, tedarikçilerin ve müşterilerin veriye veya ürüne, en doğru ve zamanında ulaşmasını sağlar. Bu sebepten dolayı tedarik zincirindeki aksamalar yüksek maliyet ve zaman gerektiren tasarım ve üretim süreçlerinde yapılan iyi işleri gölgede bırakabilir.

Çalışmanın amacı, tedarik zinciri, PLM kavramlarını ve havacılık sektöründeki paydaşları tanımak, süreç içerisinde rollerini belirlemek ve tedarik zincirinin havacılık sektöründeki yerini tayin etmektir. Bu bağlamda, masa başı araştırması ve Google Scholar, Elsevier vb. siteler ağırlıklı olmak üzere literatür taraması yapılmıştır. Türkiye'deki ve uluslararası firmalarda PLM ve tedarik zinciri sistemleri araştırılmıştır. Türk Havayolları Teknik, Cornea Havacılık Sistemleri ve Airbus firmaları arasında tedarikçi ilişkisi göz önünde bulundurularak tedarik zinciri paydaşları süreçleri incelenmiştir. Havacılık sektöründe tedarikçi olma şartları için ise ulusal ve uluslararası otoriteler olan EASA ve SHGM kuralları ele alınmıştır.

Çalışma içeriğinde, ilk olarak PLM ve tedarik zinciri kavramları tanıtılmıştır. Sonrasında havacılık sektöründe tedarik zinciri paydaşlarından

bahsedilerek paydaşlar arası ilişkiler anlatılmıştır. Ulusal ve uluslararası kural koyuculardan (denetleyici otoriteler) söz edilerek bu otoritelerin denetiminde alınan, uçuşa elverişlilik belgelerine değinilmiştir. Ardından doküman yönetim sistemi ve bu sistemin PLM içerisindeki yeri anlatılmıştır. Son olarak havacılıkta izlenebilirlik ve PLM'in izlenebilirlik için öneminden bahsedilerek çalışma tamamlanmıştır.

PLM KAVRAMI

PLM'nin Gelişimi

PLM (Product Lifecycle Management) ürünün sistematik olarak geliştirilmesini sağlayan bir platformdur. Türkiye bu platform standartlarını uygulamada diğer ülkelere göre geç kalmıştır. Ülkemizde ancak 90'lı yıllarda farklı departmanlarda bulunan ekipler, fiziksel olarak beraber çalışma ihtiyacı ile birlikte ürün gelişim sürecini standartlaştırmaya başlamışlardır. Fiziksel ortamda beraber çalışılmadığında ise veriye sağlıklı ve hızlı erişim konusunda problemler çıkmıştır. Ortaya çıkan sorunlardan ötürü de PLM'in temelleri atılmıştır.

PLM Tanımı

PLM içerisinde bulunan ürünlerin tüm disiplinlere ait (mühendislik, üretim, kalite, satın alma, servis, dokümantasyon) çalışmaları sunucuda veya internet ortamında saklanır. PLM'de gerekli yetkilere sahip isteyen birim istediği veri üzerinde çalışıp revizyon yapar. Yapılan bu revizyonlar da belirli akışlar sayesinde ilgili kişilere bildirilir. Yetkiye sahip ilgili kişiler de bu verilerin en son revizyonlarına erişir. Yani PLM; bir ürünün fikir aşamasından üretim haline kadar geçtiği tüm süreçlerin yönetilmesidir (<https://www.endustri40.com/urun-yasam-dongusu-plm/>, erişim tarihi:17.08.2021). Ürün tanımlama veri yönetimi olarak algılan ve Ürün Veri Yönetimi olarak Türkçe'ye çevrilen PDM (Product Data Management) ise teknik ve organizasyonel olarak proses, proje, iş ve konfigürasyon yönetim modellerini kapsamaktadır (Sayer ve Ülker 2014:59).

PDM Tanımı

PDM (Product Data Management), PLM sistemi içerisinde yer alan ürünün tasarım aşamasından başlayıp imalata aktarılanaya kadar olan serüvenin yönetildiği sistemdir.

PDM ürün tasarımı boyunca oluşturulan verilere kolay, hızlı ve güvenli erişim sağlamaktadır. Birinci nesil PDM sistemleri mühendislik alanında baskınlık göstermiştir ancak satış, pazarlama ve tedarik zinciri yönetimi gibi mühendislik dışı aktivitelerde başarısızlığa uğramıştır (Ötleş, Atalay, Güneş, Ertekin, Yıldız, Sayer, Özden, Alver, Yeşilay, Bulut, 2015:37).

Küçük ölçekteki firmalarda PDM birinci nesil PDM sisteminin veya platformunun varlığı süreçlerin yönetilmesinde yeterli olsa da firmada iş hacmi, ürün çeşitliliği ve çalışan sayısı arttıkça veya çeşitli disiplinlerin aktiviteleri devreye girdikçe PLM'ye ihtiyaç olmuştur.

PLM'İNİN AMAÇ VE FAYDALARI

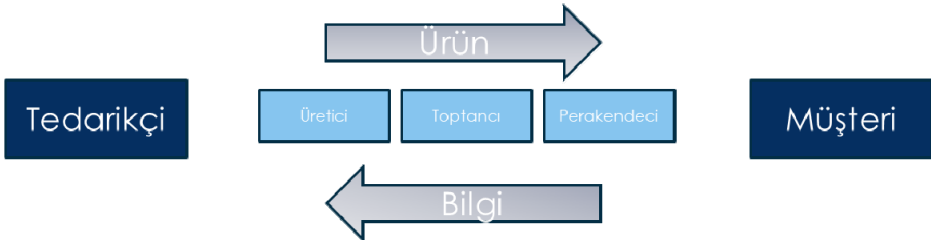
PLM sistemi doğru bir şekilde süreçlere uygulandığında firmaya olan katkıları tartışılmaz bir gerçektir. PLM sistemi kullanmanın amaçları içerisinde, ürün portföyünün iyi bir şekilde kurgulanması ve yönetilmesi, projelerin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi, tedarik zinciri ve müşteri gibi tüm paydaşlar ile ürün tasarım süreci arasında etkin bir iş birliği ortamı sağlanması, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca hem teknik hem de mali özelliklerine tam olarak hakim olunması gibi maddeleri sayabiliriz.

PLM sistemini uyguladıktan sonra da müşteri ihtiyaçları daha iyi yakalanır, inovatif fikirlerin gelişmesine ortam sağlanır, özellikle uluslararası şirketlerde farklı lokasyonda çalışılmasına rağmen ortak ürün geliştirilmesine olanak tanınır, gelir artışı ivmelenir, maliyet düşer, tasarım geliştirme sürecinde tasarım ekibi ile tedarikçiler ve müşteriler arasında iş birliği sağlanır (Kuban ve Yeşilay, 2021:78).

TEDARİK ZİNCİRİ

Tedarik zinciri, hammadde girişi yapan, onları yarı mamul ve mamule çeviren ve mamulleri müşterilere ileten, üretici ve dağıtıcıların oluşturduğu bir ağıdır (Lee, Billington 1992:65).

Bir ürün veya hizmetin tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, toptancılar, perakendeciler ve son olarak tüketiciler arasındaki ilişkisini ifade eden bağlantılar bütünüdür. Tedarik zinciri, tedarikçide ürünün üretilmesinden müşteriye ulaşmasına kadar olan süreçleri içermektedir (<https://mavvo.com.tr/blog/tedarik-zinciri-nedir-tedarik-zinciri-yonetiminin-temel-evreleri-ve-faydalari-nelerdir>, erişim tarihi: 17.08.2021).



Şekil 1. Tedarik Zinciri Akışı

TEDARİK ZİNCİRİ SÜREÇLERİ

Planlama: Tedarik zincirinde işletme içerisindeki maliyet hesaplarının yapılması aşaması olarak ifade edilen bu süreçte PLM içerisindeki yeri sadece maliyet hesabının değil aynı zamanda tasarım, üretim gibi aşamaların da planlaması demektir.

Satın Alma: Satın alma, üretim için gerekli olan her çeşit hammadde, mamul, yarı mamul, teçhizat ve hizmetin tedarik edilmesi ile ilgili faaliyetleri gerçekleştirme sorumluluğu olan ve firmanın pazar ile olan ilişkisini oluşturan süreçlerdir (Seçkin, 2018:49).

Üretim: PLM sürecinde tasarım çıktılarından eBOM (Mühendislik Malzeme Listesi) oluşur. Sonrasında üretim planlama tarafından bu malzeme listesi, üretime yönelik olarak düzenlenerek mBOM (Üretim Malzeme Listesi) oluşturulur. mBOM ve yine tasarımdan gelecek olan ürün teknik çizimleri üretime rehber olur.

Üretim süreci mBOM'daki malzemelerin satın alınmasıyla başlar, mamule dönüşmesiyle sona erer. Üretim, mal ve hizmetlerin miktar ve faydalarını artırmaya yönelik faaliyetler olarak da tanımlanır.

Stok/Depo Yönetimi: PLM sürecinde önemli bir yer tutan BOM, stok yönetimine de rehber niteliğindedir. Tasarımda kullanılan ve ürüne dönüşen tüm mamuller, yarı mamuller, hammaddeler BOM'larda belirtilerek stok yönetimde kullanılır. Stok yönetimi, üretim planlarına uygun bir şekilde tüm malzemelerin stok seviyelerinin takibi ve verimli şekilde kullanmayı amaçlar. Depo yönetimi ise, stokların nasıl ve ne kadar tutulacağını, üretilmiş ürünlerin depolanmasını ve nakliyata hazırlanmasını sağlar.

Nakliyat: Üretimi, montajı tamamlanmış ürünlerin müşteriye, tedarikçiye ulaştırılmasıdır. Firma içinde tedarik zincirinin son halkası olarak görünse de ürünün son kullanıcıya ulaşana kadar olan süreçler tedarik zinciri sürecinin içerisinde yer alır.

TEDARİK ZİNCİRİ PAYDAŞLARI

Uçak Üreticileri

Müşteri ile çeşitli toplantılarla istenilen adetteki, konfigürasyondaki uçakları planlanan zamanda teslim eder.



Şekil 2. Uçak Üreticileri ve Ürünleri

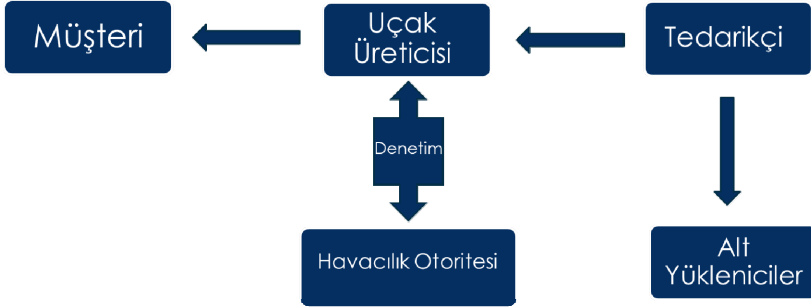
Kaynak: AIRBUS,BOEING (<https://www.airbus.com> , <https://www.boeing.com/>, erişim:17.08.2021)

Ekipman Tedarikçisi

Uçak üreticisinin, müşteri ile anlaştığı konfigürasyonlara uygun olarak, planlanan zamanda uçak üreticisine ekipmanları teslim eder.

Alt Yükleniciler

Ekipman tedariği için uçak üreticisi ile anlaşılan firmanın, dışarıdan satın almak zorunda kaldığı ürünleri üretir.



Şekil 3. Havacılıkta Tedarik Zinciri Paydaşları

Havacılık Otoriteleri

Üretilen ürünlerin veya süreçlerin havacılık standartlarına uygunluğunu denetler.

FAA (Federal Aviation Administration): Görevi, hava ve havacılıkla alakalı uçuş, üretim, uçak, etkinlik, bakım ve emniyet mevzuatlarının takibi ve uygulanmasını kontrol edip ABD hava sahası içerisinde emniyeti sağlamaktır.

EASA (European Union Aviation Safety Agency): Düzenlemeleri ve direktifleri, geçerli Avrupa standartları gereklilikleri ile aynı seviyede kalmayı ve

Avrupa Birliği'ne üye olan devletlere ihracat yapmayı isteyen komponent üreticileri, ekipman üreticileri, tasarım danışmanları, kütüphaneler ve kuruluşlar tarafından referans alınır (onlinebilgi).

SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü): Türkiye'de sivil havacılık faaliyetlerinin uçuş standartlarına ve milli güvenliğe uygun olarak uygulanmasını sağlayan ve kuralları oluşturan otoritedir.

UÇUŞA ELVERİŞLİLİK

Havacılık sektöründe bir parçanın uçağa takılabilmesi için hem tedarikçi veya üretici firmanın, belirli standartlara uygun süreçlere sahip olması gerekir hem de ürünün belirli standartlar çerçevesinde üretilmesi gerekmektedir. Bu standartlar firmanın faaliyet gösterdiği ülkeye veya ürünü ihraç edildiği ülkeye göre değişse de temelde benzer şartlardan oluşmaktadır.

UÇUŞA ELVERİŞLİLİK BELGESİ

EASA Form 1, bir onaylı üretici tarafından bir ürünün, bir parçanın veya bir bileşenin onaylanmış kurallara uygun olarak üretildiğini belirtmek için verilen yetkilendirilmiş yayın sertifikasıdır (<https://onlinebilgi.com.tr/european-aviation-safety-agency/>, erişim:29.07.2021).

Üretilen bir ürünün, Avrupa Birliği içerisinde faaliyet gösteren bir uçağa montajı yapılması istenirse Form 1 belgesine sahip olması gerekmektedir. ABD sınırları içinde ise eşdeğeri FAA 8130-3 belgesi olarak gösterilebilir. Ülkemizde ise bu rolü SHGM üstlenmekte ve SHGM Form 1 kullanılmaktadır. Bir ürünün Form 1 sahibi olabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

- Ekipmanın, Tasarım Organizasyonu tarafından tasarlanmış (ya da alt yüklenicisine tasarlatılmış) olması gerekmektedir.
- Ekipmanın, Üretim Organizasyonu tarafından üretilmiş (ya da alt yüklenicisine ürettirilmiş) olması gerekmektedir.
- Parçaya/cihaza ait alt parçaların geçmişi, izlenebilir ve havacılık standartlarına uygun parçalar olmalıdır (SHGM, Havacılıkta Parça Ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı, 2018:20).

UYGUNLUK BELGESİ (CoC)

CoC (Certification of Conformity), SHT-21 kapsamında Üretim Organizasyonu Onayı (ÜOO) sahibi olan veya yeterli bir kalite sistemine sahip kuruluşun hazırladığı Uygunluk Belgesi (Sertifikası) (CoC) ürün, parça veya cihazın minimum mevzuat, teknik ve emniyet gereksinimlerine olan uyumunu gösteren bir belgedir (SHGM, Havacılıkta Parça Ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı, 2018:19).

Plm Yönüyle Havacılık Sektöründe Tedarik Zinciri

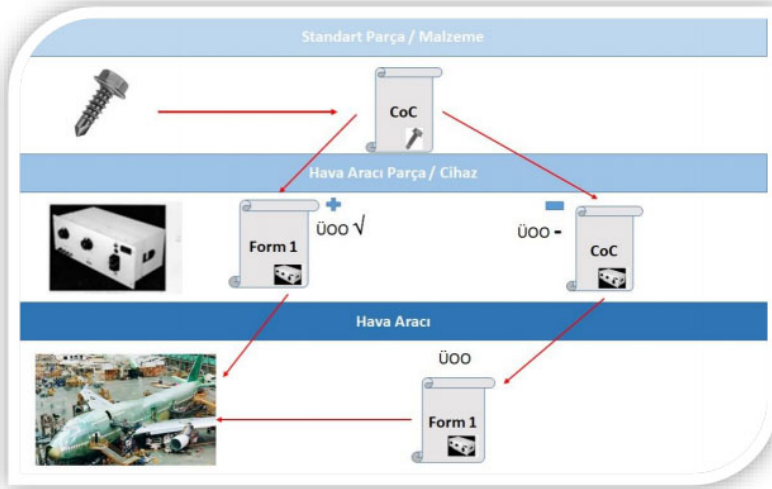
1. Approving Competent Authority/Country		2. AUTHORISED RELEASE CERTIFICATE EASA FORM 1			3. Form Tracking Number
4. Organisation Name and Address:					5. Work Order/Contract/Invoice
6. Item	7. Description	8. Part No	9. Qty.	10. Serial No	11. Status/Work
12. Remarks					
13a. Certifies that the items identified above were manufactured in conformity to: <input type="checkbox"/> approved design data and are in a condition for safe operation <input type="checkbox"/> non-approved design data specified in block 12			14a. <input type="checkbox"/> Part 145.A.50 Release to Service <input type="checkbox"/> Other regulation specified in block 12 Certifies that unless otherwise specified in block 12, the work identified in block 11 and described in block 12, was accomplished in accordance with Part 145 and in respect to that work the items are considered ready for release to service.		
13b. Authorised Signature		13c. Approval/ Authorisation Number	14b. Authorised Signature		14c. Certificate/Approval Ref. No
13d. Name		13e. Date (dd mmm yyyy)	14d. Name		14e. Date (dd mmm yyyy)
<p>USER/INSTALLER RESPONSIBILITIES</p> <p>This certificate does not automatically constitute authority to install the item(s).</p> <p>Where the user/installer performs work in accordance with regulations of an airworthiness authority different than the airworthiness authority specified in block 1, it is essential that the user/installer ensures that his/her airworthiness authority accepts items from the airworthiness authority specified in block 1.</p> <p>Statements in blocks 13a and 14a do not constitute installation certification. In all cases aircraft maintenance records must contain an installation certification issued in accordance with the national regulations by the user/installer before the aircraft may be flown.</p>					

Authorised Release Certificate — EASA Form 1 referred to in Annex 1 (Part 21)

Şekil 4. EASA Form 1

Kaynak: EASA (COMMISSION REGULATION (EU) No 748/2012:65)

CoC belgesine sahip bir standart bileşen veya ekipman uçuşa elverişli olabilmesi için CoC sahibi ürünün kullanıldığı ekipmanın, Form 1 belgesi olması gerekmektedir.



Şekil 5. Uçuşa Hazır Ürün Koşulları

Kaynak: SHGM (Havacılıkta Parça ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı, 2018:9)

DOKÜMAN YÖNETİM SİSTEMİ

DMS (Document Management System), dokümanların hazırlanışından bu belgeleri ilgili kişi veya kurumlara ulaştırma ve takip edilebilirliği sağlama üzerine kurulmuş sistemlerdir.

Elektronik doküman yönetimi sistemleri, dokümanların hazırlanmasından onaylanmasına kadar olan süreçlerin iş akışları ile yönetildiği, revizyon takibinin yapıldığı yazılımlardır. Bu sistemler, işlemlerin elektronik olarak sürdürüldüğü kurumlarda çok önemli bir yere sahiptir (Özdemirci, Odabaş 2005:119).

Doküman yönetim sisteminde bir doküman için en önemli 4 ayrı edici özellik bulunur.

- Doküman numarası,
- Doküman başlığı / adı,
- Revizyon numarası,
- Revizyon tarihi.

Bu özellikler dokümanı diğer dokümanlardan ayıran verilerdir. Bu özellikler dokümana özgü ve benzersiz olacağından vatandaşlık numarası gibi dokümanları birbirinden ayırt etmeye yardımcı olur. Temel bir doküman yönetim sistemi kurulabilmesi için ise bu verilerin veri tabanı aracılığı ile yönetilmesi gerekmektedir.

(https://tr.wikipedia.org/wiki/Dok%C3%BCman_y%C3%B6netim_sistemi, erişim:29.07.2021).

Doküman yönetim sistemi, PLM sisteminin bir parçasıdır. Bir ürün üretmek için gerekli tüm tasarım ve imalata yönelik verilerin yanı sıra dokümanlarının yönetimi de önemli bir yer almaktadır. Doküman yönetim sisteminde ürünlerin teknik verileri (datasheet), analiz raporları, üretime yönelik montaj talimatları, üretim öncesi ve sonrası test raporları, satış öncesi ve sonrası oluşturulan dokümanlar yönetilebilir. PLM sistemleri içerisine entegre edildiğinde tüm bu dokümanlar, ürünler ile eşleştirilebilir. Örneğin, PLM sistemi içerisinde hangi müşteriye hangi ürünün gönderildiği gibi bilgilere ulaşırken yine bu ürünün detaylarına erişildiğinde ürünün teknik dokümanları, test raporları gibi bilgilere de erişilebilmektedir.

Doküman yönetim sistemi aynı zamanda bir ürünün uçuşa elverişli olabilmesi için gerekli sertifikasyon süreçlerinin yönetimi ve bu belgelerin saklanması gibi faydaları da işletmeye sağlamaktadır. Havacılık sektörü gibi en ufak hatanın etkilerinin büyük olabileceği sektörlerde PLM içerisinde doküman yönetim sisteminin rolü büyüktür. Ürünlerin tasarım, üretim veri ile birlikte sertifikasyon dokümantasyonu da birlikte yönetilir. Örneğin, bir CAD verisi

görüntülediğinde PLM sisteminde bu ürünün tasarım aşamaları, test aşamaları, değişiklik süreçleri, üretimi gibi bilgilere ulaşılabilirken uçuşa elverişlilik sertifikası süreçleri de yine bu sistemden görüntülenebilir.

Doküman yönetim sistemi kurulduğunda, dokümanlar güvenli bir şekilde saklanabilirken onay süreçleri de önceden hazırlanmış iş akışları ile sadece yetkili kişilerin gözetiminde uygulanır.

HAVACILIKTA ÜRÜN İZLENEBİLİRLİĞİ

Bir ürün izlenebilirliği, ürünün tedarik zinciri süreci boyunca farklı departmanların katılımını ve birlikte çalışmasını zorunlu kıldığından karmaşık konudur. Gelişen teknoloji ile birlikte kamu ve özel sektörün şeffaflık istekleri günden güne izlenebilirlik konusunu daha kolay yönetilebilmesini sağlamaktadır.(Norton, Beier, Shields 2014:8).

Dünyadaki izlenebilirlik konusundaki genel kavram, zincir izlenebilirliği için geçerlidir. Zincir izlenebilirliği, hammadde ve parça tedarikinden işleme, dağıtım ve satışa kadar olan geçmişin ileriye veya geriye doğru izlenebileceği anlamına gelir. Üreticiler, ürünlerinin nereye teslim edildiğini izleyebilirler, şirketlerin ve tüketicilerin elindeki ürünlerin nereden geldiğini de anlayabilirler. Bu, üreticilere beklenmedik sorunlar olduğunda ürünler üzerinde daha kolay soruşturma ve ürün geri çağırma olanağı sağlar. Tüketiciler, yanlış etiketleme gibi endişeler olmaksızın, güvenilir ürünler seçmek için bunu bir kıyaslama olarak da kullanabilirler.

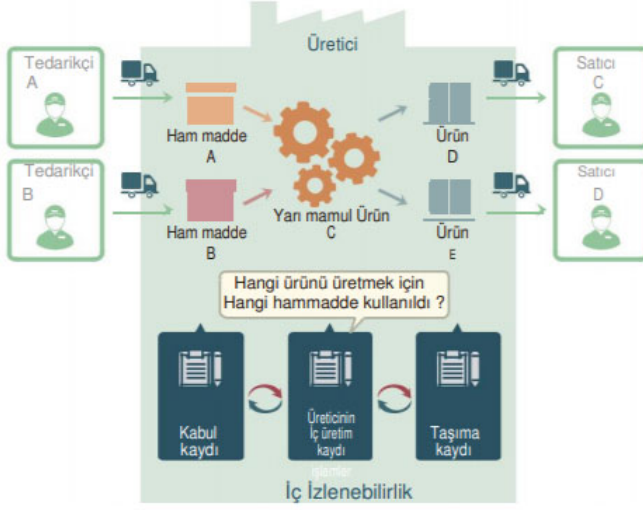


Şekil 6. Zincir İzlenebilirliği

Kaynak: Keyence (<https://entek.com.tr/kataloglar/izlenebilirlik.pdf>, erişim:29.07.2021)

İç izlenebilirlik, tek bir şirket ya da tesis gibi bir bütün tedarik zincirindeki sınırlı belirli bir alan içindeki parçaların / ürünlerin hareketini izlemek demektir (<https://entek.com.tr/kataloglar/izlenebilirlik.pdf>, erişim 29.07.2021).

Örneğin, bir uçak imalatında üretici tedarikçilerinden ekipmanları tedarik eder ve bunların montajını yapar. Üreticinin imalat geçmişi ve denetim sonuçlarının yönetimi ve kullanımı, dahili izlenebilirlik olarak da kabul edilebilir.



Şekil 7. İç İzlenebilirlik

Kaynak: Keyence (<https://entek.com.tr/kataloglar/izlenebilirlik.pdf>, erişim:29.07.2021)

Havacılık sektöründe izlenebilirlik son derece önemli konulardandır. Tüm bu izlenebilirlik konuları belirli standartlar çerçevesinde havacılıkta faaliyet gösteren firmalar için gerekli olmaktadır.

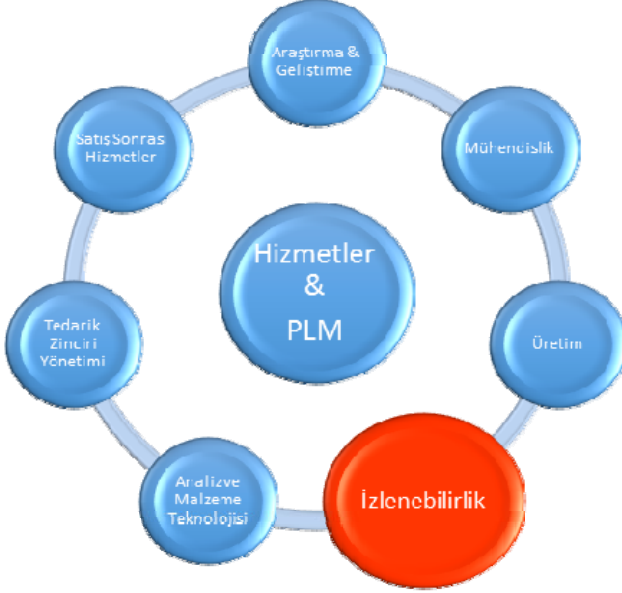
ALT YÜKLENİCİ (TEDARİKÇİ) İÇİN İZLENEBİLİRLİK

Alt yüklenici, Üretim Organizasyonu Onayı sahibinin yetkisi ve gözetiminde bir ekipmanı, parçayı veya sistemi üretecek kişi veya kurumlardır. Herhangi bir uçak parçası üretmek isteyen firma, ya kendi ÜO yetkisine sahip olmalı ya da yetkili bir ÜO kuruluşunun altyüklenicisi olmalıdır. ÜO altyüklenicisi olabilmek için mevzuatta belirlenmiş genel geçer bir koşul bulunmamakla birlikte, her ÜOO sahibi kuruluş kendi altyüklenicilerini nasıl yetkilendireceğini belirler, doküman eder ve bunu otoriteye kabul ettirir. Altyüklenici olacak firmaların bir kalite yönetim sistemine sahip olması beklenmektedir. Minimum olarak ISO9001 belgesi talep edilmekle birlikte havacılık sektörü için özelleştirilmiş olan AS9100 Havacılık ve Uzay Sanayi Kalite Yönetim Sistemi belgesi alınması tavsiye ve teşvik edilir. Hatta bazı ÜO sahibi kuruluşlar tarafından AS9100 belgesinin alınması zorunlu tutulmuştur (Ör: Boeing, Airbus,

TAI vb.) (SHGM, Havacılıkta Parça Ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı, 2018:29).

AS9100 belgesinin alınabilmesi için de ürünlerin tanımlama sistemi ve izlenebilirliği şarttır.

İZLENEBİLİRLİKTE PLM'İN ÖNEMİ



Şekil 8. PLM'nin Çalışma Alanları

Kaynak: Zollner (<https://www.zollner-electronics.com/en/services-plm>, erişim:29.07.2021)

Geçmişte, üretim planlama, satın alma, üretim, stok yönetimi, nakliyat gibi konular el ile yönetiliyordu. Tüm bu süreçleri yönetirken ister istemez insan faktörü büyük rol oynadığından hatalar da kaçınılmaz oluyordu. PDM/PLM yazılımlarının yaygınlaşması ile birlikte firmalar bu alanlara yatırımlarını yaparak iş süreçlerini otomatikleştirmeye başladı. Daha az insan müdahalesiyle hataları en aza indirerek büyük karlılıklar elde edilmeye başlandı.

İzlenebilirlik (Traceability), PLM/PDM yazılımlarının en önemli özelliklerindedir. Bir ürünün fikir aşamasından başlayıp tüm detayları ile kayıt altına alındığı bu yazılımlar ürünün müşteriye kadar hangi konfigürasyona sahip olduğuna ilişkin veriyi kısa sürede çıkarabilmektedir. Bu sayede zamandan tasarruf sağlanırken yanlış ürünün yanlış müşteriye gönderilmesi veya teknik desteğinin yanlış verilmesi gibi sorunlarla karşılaşılmaz.

SONUÇ

Havacılık, geçmişte ve günümüzde diğer sektörler için yön veren bir sektör olarak görülmektedir. Teknolojik gelişmeler çoğunlukla havacılık sektöründe uygulanmasından sonra diğer sektörler için örnek teşkil etmektedir. PLM sistemleri de havacılık sektöründe uygulandıktan sonra diğer sektör firmalarında kullanılmaya başlamıştır. Bir uçak üreticisi tedarikçisi için PLM sistemleri vazgeçilmez uygulamalar arasında yer almaktadır. Havacılık sektöründe tedarikçiler birçok denetimden geçtikten sonra uçuşa elverişli ürünler üretilmektedir. Tasarım, üretim, test, tedarik zinciri yönetimi gibi birçok çalışma alanı PLM sistemi içerisinde entegre edildiğinde süreçler arası bağlantı sağlanarak mümkün olduğunca hataların minimuma indirildiği görünmekte ve yüksek kalitede ürünler ortaya çıkmaktadır. Böylece kurumların rekabet gücünü de artırmaktadır. Tedarik zinciri de PLM uygulamalarının içerisinde yer alan önemli bir süreçtir. Tedarik zinciri sürecinde izlenebilirliğin sağlanması, insan hatasını en aza indirme, tedarikçi olmak için gerekli sertifikasyon doküman yönetimi gibi çalışmalarda PLM sisteminin uygulanması verimlilikleri en üst seviyeye ulaştırmaktadır.

Özellikle havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmaların, genel olarak faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için uçuşa elverişli ürünler üretmeleri gerekmektedir. Uçuşa elverişlilik şartları da belirli havacılık standartlarına uyum ve tedarikçiler arası işbirliği gerektirir. Bu uyum ve gerekli işbirlikler, PLM sistemlerinin kullanımı ile insan hatasını en aza indirerek sağlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Tarcan Kiper (2012), "PLM-Product Lifecycle Management & BIM-Building Information Modeling", infoTRON A.Ş.
- Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, Ürün Yaşam Döngüsü (PLM), <https://www.endustri40.com/urun-yasam-dongusu-plm/> [17.08.2021 tarihinde erişilmiştir].
- Sami Sayer, Aydın Ülker (2014), "Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi", Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 657, s. 57-64
- Semih Ötleş, Süheyla Atalay, Semih Güneş, Fiğen Ertekin, Hasan Yıldız, Sami Sayer, Hüseyin Özden, Ninel Alver, Rüstem Barış Yeşilay, Hasan Bulut, Ege Üniversitesi PLM Proje Grubu (2015), "Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi", Plastik-Ambalaj Teknolojisi Dergisi, Ocak-Şubat sayı, s37
- Doruk Kuban, Rüstem Barış Yeşilay, (2021) "PLM ve İnovasyon: PLM, İnovasyon için Bir Kolaylaştırıcı Olabilir Mi?" Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 5(1): 76-84

- Hau Lee, Corey Billington (1992), "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities", MIT Sloan Management Review, 33, 3, s. 65-73
- Mavvo (2019), "Tedarik Zinciri Nedir, Tedarik Zinciri Yönetiminin Temel Evreleri ve Faydaları Nelerdir?", <https://mavvo.com.tr/blog/tedarik-zinciri-nedir-tedarik-zinciri-yonetiminin-temel-evreleri-ve-faydalari-nelerdir/> [17.08.2021 tarihinde erişilmiştir].
- Funda Seçkin (2019), "Tedarik Zinciri Yönetiminde ve Tedarikçi Seçiminde Sürdürülebilirlik Kavramının Gelişimi", Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, Cilt 2, Sayı 2
- Airbus, (2021), <https://www.airbus.com/> [17.08.2021 tarihinde erişilmiştir].
- Boeing, (2021), <https://www.boeing.com/> [17.08.2021 tarihinde erişilmiştir].
- Onlinebilgi, (2021), "European Aviation Safety Agency", <https://onlinebilgi.com.tr/european-aviation-safety-agency/> [29.07.2021 tarihinde erişildi].
- EASA, (2012), "COMMISSION REGULATION (EU) No 748/2012"
- SHGM, (2018), "Havacılıkta Parça Ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı"
- Fahrettin Özdemirci, Hüseyin Odabaş, (2005), "Yazışma Yönetimi ve Dosyalama İşlemleri", Alter Yayıncılık, Ankara
- Vikipedi, (2021), "Doküman Yönetim Sistemi" https://tr.wikipedia.org/wiki/Dok%C3%BCman_y%C3%B6netim_sistemi, [29.07.2021 tarihinde erişildi].
- Tara Norton, Julia Beier, Lauren Shields, (2014), "A guide to Traceability, 'A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains' ", New York
- Keyence, (2021), "Keyence İzlenebilirlik El Kitabı", <https://entek.com.tr/kataloglar/izlenebilirlik.pdf>, [29.07.2021 tarihinde erişildi].
- Zollner, (2021), "Service & PLM", <https://www.zollner-electronics.com/en/services-plm>, [17.08.2021 tarihinde erişildi].

ASKERİ HAVA ARACI KAZALARINDA İNSAN FAKTÖRÜ KAVRAMI ÜZERİNE NİTEL BİR ARAŞTIRMA

Ramazan ÇOBAN

GİRİŞ

Dünya çapında endüstriyel ticari faaliyetlerin yapılması sırasında sürekli olarak ciddi olay ve kazalarla karşılaşmak mümkündür. Bu kazalar sonucunda birçok insan hayatını kaybetmekte ya da yaralanmakta ve işletmeler ciddi maddi kayıplarla karşı karşıya kalmaktadır. 2011 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde yaşanan olay ve kazalar sonucunda 3600 can kaybı ve 5.1 milyon sakatlık ve yaralanma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, ortalama olarak her 2.5 saatte bir ölüm ve her 6 saniyede bir yaralanma anlamına gelmektedir. Bununla beraber yine ABD'de 2009 yılında meydana gelen endüstriyel kazalar incelendiğinde, kazaların toplamda 168.9 milyar \$ toplam maddi kayıba (verimlilik ve ücret kaybı, tıbbi masraflar, idari/yönetimsel kayıplar, motorlu taşıt hasarı, çalışanların sigorta maliyetleri ve yangın hasarı) neden olduğu görülmüştür (Ergai, 2013). Kazaların bir işletmeye doğrudan ve görünen maliyetleri ne olursa olsun dolaylı ve görünmeyen maliyetler doğrudan maliyetlerin ötesine geçerek toplam maliyetin 2 ile 20 kat arasında artmasına neden olabilmektedir. Üretim kayıpları, yaralanan çalışanın ortaya çıkardığı iş gücü kaybı ve iş sağlığı ve güvenliği konusunda işletmelerin aldığı maddi cezalar dolaylı ve görünmeyen maddi maliyetler arasında görülebilir (Mossink ve De Greef, 2002). Bu veriler, bilgi ve teknolojik yeniliklerin günümüz çalışma hayatında endüstriyel faaliyetlerin yapılması sırasında olay ve kazaların sayısının azalmasına ve iş sağlığı ve güvenliğine olumlu katkı yapmasına rağmen söz konusu kazaların hala ciddi endişe kaynağı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kazalara neden olan faktörler hakkında daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Kazaların nedenleri incelendiğinde; kazaların teknolojik, çevresel, örgütsel ve insan faktörlerinin etkileşiminden kaynaklandığını söylemek mümkündür (Reason, 2008; Sharit, 2006). Hava aracı kazalarına neden olan teknolojik faktörler, bir sistem ya da ekipmandaki bir bileşenin teknik arızasını veya aksaklığını ifade etmektedir. Teknolojik faktörler mevcut sistemin tasarlanan özelliklerini artık karşılayamadığını, tasarım kusurlarını ve ekipmanların görevini yerine getirirken yetersiz kaldığını göstermektedir. Çevresel faktörler; ekipman, araç ve çalışanların performansını olumsuz olarak

etkileyen ve içinde bulunulan çevresel koşulları ifade eder. Hava koşulları, gürültü, ısı, aydınlatma gibi koşullar çevresel faktörler kapsamında düşünülebilir (Ergai, 2013: 2). Örneğin, Federal Havacılık Yönetiminin 2010 yılı verilerine göre genel havacılık veri tabanının incelemesi sonucunda 2003-2007 yılları arasında meydana gelen 8.657 havacılık kazasının 1.740'nun kök ya da katkı sağlayan sebebinin çevresel faktörlerden oluştuğu görülmüştür. Rüzgar, yüksek yoğunluklu irtifa, buzlanma, hava akımları, yağış şekilleri, gök gürültülü sağanak yağışlar, termal yükselme, yıldırım ve aşırı sıcaklıkların bu kazalara neden olan çevresel faktörler arasındadır (<https://www.asias.faa.gov>). 26 Nisan 1986 tarihinde Sovyetler Birliği yönetimi altındaki Ukrayna'nın Pripjat şehri yakınlarındaki Çernobil nükleer santralının 4 nolu reaktöründe meydana gelen nükleer kaza (Burgherr ve Hirschberg, 2008) ve 28 Ocak 1986 tarihinde ABD'ye ait uzay mekiği Challenger'ın (OV-099) uçuşunun 73. saniyesinde parçalanarak uçuş ekibinin yedisinin de öldüğü ölümcül kaza (Peralman, 2015), kazalara neden olan örgütsel faktörler konusunda kamuoyunda önemli bir farkındalık oluşturmuştur (Von Thaden vd., 2006). Çernobil felaketine zayıf emniyet kültürü, özellikle de emniyet kurallarının ihlali (Salge ve Milling, 2006); Challenger kazasına ise NASA'nın zayıf iletişim sistemi (Heimann, 1993) katkıda bulunmuştur. Açık olmayan ve yetersiz prosedürler, eğitim ve standartlardaki eksiklikler, örgütsel süreçler ve yönetim şekli kazalara neden olan ya da katkı sağlayan örgütsel faktörler arasındadır. Olay ve kazaların oluşumuna neden olan önemli bir faktör de insan faktörüdür. Reason (1990)'a göre insan faktörü kavramı, planlanmış zihinsel veya fiziksel bir faaliyetin amaçlanan sonuca ulaşmasında görülen başarısızlıkları ve bu başarısızlıkların şans faktörüne atfedilmediği, insan hataları ile ilişki olduğu bir durumu ifade eder. Benzer şekilde, bir çalışan tarafından amaçlanan eylemlerin sonucunun insan için kabul edilebilir sınırların ötesine ulaştığında insan hatası ortaya çıkmaktadır. Dikkatsizlik, karar verme hataları, gönül rahatlığı, beceri eksikliği gibi faktörler insanların çalışma ortamında hata yapmasına neden olmaktadır. Günümüzde teknolojik faktörlerden kaynaklanan kazaların sayısında önemli derecede azalma olmuşken, insan hatasından kaynaklanan kazaların sayısı ise önemli derecede artmış ve toplam kazaların %80'ninden fazlasını oluşturmaktadır (Piwek, 2018: 383).

İnsan faktörü kavramı, insanların çalışma ortamında ekipmanlar, fiziksel çevre, örgütsel kurallar ve aynı ortamdaki diğer insanlarla nasıl bir etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaya çalışır. Çoğu sektörde olduğu gibi, emniyet ve güvenlik kavramının son derece önemli olduğu havacılık sektöründe de insan faktörü kavramı çalışanların performansı ile doğrudan ilgilidir. Havacılık sektöründe insan faktörü kavramı, sistem mühendisliği çerçevesinde entegre edilen bazı bilimlerin sistematik uygulaması yoluyla insan performansını

optimize etmeye çalışır. İnsan faktörü, çalışanların performansında emniyet ve verimlilik olmak üzere iki temel amaca odaklanır. İnsan performansını potansiyel olarak etkileyen faktörlerin çeşitliliği göz önüne alındığında, insan hatasının havacılığın başlangıcından bu yana neredeyse havacılık sektöründe yaşanan olay ve kazalarda ana faktör olarak kabul edilmektedir. Kazalara neden olan insan hatalarını anlayabilmek, havacılık sektörünün en büyük zorluklarından biri olmaya devam etmektedir. İnsanların hata yapma sebepleri anlaşılabilirse hatalardan kaçınmak, hataları kontrol etmek ve hataları en aza indirebilmek için gerekli tedbirler alınabilir. Havacılık sektöründe insan faktörü kavramının incelenmesi ve anlaşılması; sağlıklı, kalifiye, iyi donanımlı, normal ve motive olmuş havacılık çalışanlarından bazılarının nasıl ölümcül sonuçları doğurabilecek insan hataları yaptığının anlaşılması için esastır (ICAO Doc 9806, 2002).

Kara, deniz ve demiryolu gibi diğer ulaşım türleriyle karşılaştırıldığında havayolu taşımacılığının güvenilir bir ulaşım türü olduğu tüm dünyada bilinmektedir. Ciddi emniyet ve uçuş kuralları sayesinde toplum nazarında güvenilir bir izlenime sahip olan havayolu ulaştırması ile son yıllarda daha fazla yolcu ve yük taşınmakta ve sektör dünya çapında her yıl yaklaşık olarak %6 oranında büyümektedir. Önümüzdeki gelecek yıllar boyunca da söz konusu sektörel büyümenin devam edeceği öngörülmektedir (Çoban, 2019: 46). Literatüre bakıldığında havacılık emniyeti ve insan faktörü ile ilgili çalışmaların çoğunlukla ticari sivil havacılık sektörüne yöneldiği görülmektedir. Çalışmaların çoğunlukla sivil havacılık sektörüne yönelmesinin sebepleri arasında; küresel ve teknolojik değişimlere bağlı olarak sektörün sürekli büyüme içinde olması, hergün dünya çapında milyonlarca insanın havayolu ile seyahat etmesi, emniyetsiz olay ve davranışların ağır maddi ve manevi kayıplarla sonuçlanan trajik kazalara neden olması, havayolu seyahatinin diğer seyahatlerden farklı olarak kendine özgü çevresel koşullarda yapılması, havayolu işletmelerinin ülkeler için bir prestij kaynağı olarak görülmesi ve havacılık sektöründe yaşanan kazaların kamuoyunda ilgi ve kaygıyla takip edilmesi olarak görülebilir. Bununla beraber askeri havacılık, sivil havacılık sektörü gibi havacılık sektörünün diğer önemli bir yanını oluşturmaktadır. Birçok teknolojik ekipman ve yenilik öncelikle askeri hava araçlarında uygulanmakta; askeri uçuş operasyonları sivil havacılık faaliyetlerine göre son derece zor çevresel koşullarda yapılmakta ve askeri pilot, uçak bakım, hava trafik ve yer destek çalışanları söz konusu zorlu çalışma koşullarında insan faktöründen kaynaklanan hatalar yapmaktadır. Askeri havacılık faaliyetlerinin milli savunma hizmetine yönelik yapılması, bilgi güvenliğinin esas olması, ticari yolcu taşımacılığına yönelik olmaması, askeri hava aracı kazalarının sivil kazalara göre daha az can kaybına neden olması gibi sebepler askeri havacılık alanındaki çalışmaların az olmasının nedeni

olabilir. Bununla beraber askeri havacılık faaliyetleri de çoğunlukla sivil havacılık faaliyetleri gibi ciddi emniyet ve güvenlik kuralları çerçevesinde yürütülmektedir. Askeri havacılık alanında insan faktörü ve uçuş emniyeti ile ilgili literatürdeki boşluğa katkı yapması düşüncesiyle yapılan bu araştırmanın amacı; askeri hava aracı kazalarında insan faktörü kavramını nitel bir araştırmaya ile derinlemesine incelemektir. Araştırmanın askeri havacılık, havacılık emniyeti ve insan faktörü ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE İNSAN FAKTÖRÜ KAVRAMI

Havacılık sektörü, dünya çapında dört ana ulaşım sektörü içinde en güvenlisi ve öncü bir sektör olarak ön plana çıkmaktadır. Sektörün kazandığı bu zor uluslararası itibar, onlarca yıl devam eden havacılık emniyeti ve güvenliği üzerine yapılan mühendislik çalışmaları ile pilotlar, kabin ekibi, hava trafik kontrolörleri, uçak bakım çalışanları, yer hizmetleri, tasarımcılar, üreticiler, kaza araştırmacıları ve güvenlik değerlendiricileri ile teknoloji arasındaki güçlü ortaklığın sonucu oluşmuştur. Bununla beraber sivil havacılık sektöründe yoğun rakabet, küreselleşme, teknolojik değişimler, yeşil havayolu işletmeciliği, dış kaynak kullanımı gibi ticari nedenler gibi havayolu işletmelerini zorlayan, kâr oranlarını düşüren ve işletmelerin daha fazla yatırım yapmalarını azaltan güçlü baskılar mevcuttur. Belki de havacılık tarihinin gördüğü en büyük zorluk, tüm sektör üzerinde ciddi bir olumsuz etki yaratan ve halen devam eden COVID-19 salgınıdır. Bu salgın, havacılık sektörünün dış faktörlere karşı ne kadar kırılğan olduğunu göstermekle birlikte, sektörün eninde sonunda toparlanacağına inanılmaktadır (Kirwan vd., 2020: 4). COVID-19 salgını öncesinde havacılık sektörüne bakıldığında farklı zorluklara rağmen sektörün dünya çapında büyüme eğilimi içinde olduğu görülmektedir. Tüm dünyadaki ticari yolcu taşımacılığı 2018 yılında %7,3, 2109 yılında ise %4,2 oranında büyümüştür. Küresel ticaretin yavaşlaması, siyasi ve jeopolitik çatışmalar, yavaşlayan ekonomik faaliyetler, Brexit belirsizliği ve Boeing 737 Max uçuşlarının durdurulması gibi zorluklara rağmen 2019 yılında da sektör büyümeye devam etmiştir (Çoban ve İpek, 2020: 90).

Havacılık sektöründe uçuşa yönelik gerçekleştirilen tüm faaliyetler, uluslararası kurallar çerçevesinde ve uçuş emniyeti kavramı dikkate alınarak yürütülmektedir. Faaliyetlerin emniyetli ve herhangi bir sorun yaşamadan yürütülmesi, havacılık çalışanlarının uçuş emniyet kurallarına tamamen uymasına bağlıdır (Çoban, 2019: 47). Emniyet kavramı; riskler, ölüm, yaralanma ve maddi hasarlardan uzak durma ya da muafiyet olarak ifade edilebilir. Emniyet kavramının zıttı olan risk kavramı ise, belirli bir zaman içinde tehdit içeren bir durumla karşılaşma olasılığı ya da bu olasılığın ortaya çıkarabileceği neticelerdir. Hem emniyet hem de risk kavramları dikkate

alınacak olursa havacılık emniyeti; havacılık sektöründeki tüm faaliyetlerin gerçek hayat koşullarında bilinen tüm risklerin ortaya konulduğu, kontrol altına alındığı ve kaçınıldığı kabul edilebilir bir risk seviyesinde gerçekleştirilmesi olarak tanımlanabilir (Gerede, 2005). Havacılık emniyeti; uçuş ekibinin, yolcuların, uçağın kendisi ve yer ekipmanlarının herhangi bir tehlike altında olmadan uçuş faaliyetinin gerçekleşebilmesi için gerekli olan koşulları tanımlar. Genel olarak havacılık emniyeti, ortak müdahalelerle acil durumları önleyen ve herhangi bir acil durumda ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçları en aza indirmeye çalışan birçok unsurdan oluşan bir sistemdir. Bu sistemi oluşturan unsurlar; uçağın kendisi ve teknik özellikleri, çevresel koşullar, havacılık yönetim sistemi ile fiziksel ve zihinsel her yönüyle insandır (Piwek, 2018: 383).

Havacılık sektörü ve çalışanları, emniyete önem verdiklerini ve faaliyetlerini emniyet kuralları çerçevesinde yaptıklarını ifade etmelerine rağmen, sektörde uçuş emniyetini riske sokan ve ciddi can ve mal kayıplarına neden olan insan hatalarını modern havacılığın ilk dönemlerinden bu yana görmek mümkündür. 17 Eylül 1908 tarihinde ABD Ordusu ile yapılacak bir sözleşme kapsamında Virginia eyaletinin Fort Myer bölgesinde Wright Flyer isimli uçak ile yapılan deneme uçuşu sırasında modern havacılığın öncüsü pilot Orville Wright ve yolcu Teğmen Thomas Selfridge kaza geçirmiştir. Orville Wright bu kazada yaralanmış, Thomas Selfridge ise bir uçak kazasında ölen ilk yolcu olarak havacılık tarihine geçmiştir (Şekil 1). Ticari havacılığın ilk dönemlerinde olay ve kazalar, uçakların teknik yetersizliklerinden kaynaklanmış ve ilerleyen yıllarda modern uçakların kullanılmasıyla birlikte teknik sorunların çoğu çözülmüştür. Havacılığın son dönemindeki emniyetsiz durumların kaynağı olan insan faktörü ve örgütsel nedenler ise geliştirilen disiplinler arası farklı modellerle giderilmeye çalışılsa da havacılık sektöründe yaşanan emniyetsiz olay ve çalışan davranışları günümüzde hala varlığını devam ettirmektedir (Ustaömer, 2020; <https://www.wired.com>).



Şekil 1. Havacılık Tarihinin İlk Ölümcül Kazası

Kaynak: <https://www.wired.com/2010/09/0917selfridge-first-us-air-fatality/>, [25.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]

Her sistemde olduğu gibi havacılık sektöründe de sistematik bir şekilde yürütülen faaliyetlerde genellikle en esnek ve kritik olan bileşen insandır. Bu nedenle sistemin merkezinde “canlı bir eşya” olarak da görebileceğimiz insan vardır. Ancak, bu sistemli faaliyetlerin içinde görevlerini yapan insanlar, performanslarının farklı olmasına ve hata yapmalarına neden olan birçok farklı sınırlamalara maruz kalabilirler (Kahuho-Mwarari, 2014). Mikro biyoloji uzmanı, kimyager ve pastörizasyon ilkelerini ortaya koyan ünlü Fransız bilim insanı Louis Pasteur’un 7 Aralık 1854 tarihinde Lille Üniversitesi’ndeki bir konferansta sarf etmiş olduğu sözleri (le hasard ne favorise que les esprits prepares-talih, hazırlıklı zihinlerden yanadır) emniyet kavramının önemini ortaya koymaktadır. Pasteur’un bu sözünün havacılık sektörü için de aynı oranda geçerli olduğunu söylemek mümkündür. Hatta havacılık sektörü için bu sözü tersine çevirmek, onu daha anlamlı hale getirir. Çünkü havacılıkta ortaya çıkan talihsizlikler hazırlıksız zihinleri cezalandırır. Havacılık sektörünün zorlu çalışma koşulları içinde hayatta kalabilmek ve görevleri emniyetli bir şekilde yapabilmek için tüm risklere karşı hazırlıklı olmak gerekir. Bu nedenle havacılıkta hava koşulları, aerodinamik ve navigasyon kuralları gibi teknik disiplinlerin yanısıra aynı zamanda havacılık faaliyetlerinin bir taraftan en kırılgan ve güvenilmez diğer taraftan ise en dayanıklı ve uyarlanabilir unsuru olan “insan” hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir (Martinussen ve Hunter, 2010). İnsanların görevlerini yaparken başarısız olmaları ve yaptıkları hatalar, insan faktörü kavramı içindeki bazı konularla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle insan faktörü kavramı, havacılık emniyeti içinde önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hem bilgi tabanı hem de kapsamı açısından oldukça geniş bir kavram olan insan faktörü, insanın yetenekleri, sınırları ve diğer özellikleri hakkında bilgi elde etmeye odaklanan ve elde edilen bu bilginin bir insan tarafından ekipman, makine, görev, sistem, ortam ve diğer insanlarla etkileşimine nasıl etkili, verimli, emniyetli ve güvenli bir şekilde uygulanacağını ele alan bir yaklaşımdır. Örneğin, havacılıkta bir insanın teknoloji ile nasıl emniyetli ve etkili bir şekilde etkileşime girdiği insan faktörü kavramının bir parçasıdır. Bu etkileşimden elde edilen bilgiler; insan performansını arttırmak için teknolojik tasarımlar, eğitim, politikalar ve kuralların geliştirilmesinde kullanılabilir (Kharoufah vd. 2018: 2). Havacılıkta insan faktörü kavramı, uçuş emniyeti ve havacılık çalışanlarının mesleki performansı ile doğrudan ilişkili bir kavram olarak, havacılık emniyetine sistematik bir bakış açısı getirmekte ve günümüzde havacılık sektöründe yaşanan kaza ve olayların çoğunluğu insan faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu nedenle havacılıkta insan faktörü kavramını farklı yönleriyle inceleyen araştırmalar önem arz etmektedir (Lyssakov ve Lyssakova, 2019: 130). Havacılıkta insan faktörü kavramı, belirli bir havacılık faaliyetini yerine getiren bir bireyin davranışları ve eylemleri ile ilgili bir kavram olarak bireyin görev performansı sırasındaki yetenekleri, sınırlılıkları ve çevresel koşullarını kapsar. İnsan faktörü kavramı sadece uçağın kokpitindeki uçuş ekibinin davranışlarını

değil, aynı zamanda havacılık sektöründe gerçekleşen tüm faaliyetleri kapsayan bir kavramdır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization-ICAO)'ne göre günümüzde gerçekleşen havacılık sektörü kazalarının çoğu insan faktörü nedeniyle meydana gelmektedir. Bu gerçek, havacılık kazalarında insan faktörünün en yaygın ve önemli sebep olduğunu göstermektedir. İnsan faktörü ile kıyaslandığında teknik sebepler, çevresel koşullar ve diğer sebeplerin kazalara olan katkısı daha küçüktür. İnsan faktörünün havacılık kazalarına olan büyük katkısı gözönüne alındığında kazalara neden olan insan hatalarının belirlenmesi ve sınıflandırılması kazaların önlenmesine katkı sağlayacaktır (Piwek, 2018: 383).

Havacılık sektöründe nispeten yeni bir kavram olan insan faktörü kavramı 2. Dünya savaşı sonucunda İngiltere ve Kuzey Amerika'da yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. İnsan faktörü kavramı ilk olarak 1940'larda İngiliz Hava Kuvvetleri kaza araştırma raporları literatüründe gayri resmi olarak kullanılmaya başlanmış, kavram resmi olarak ise ilk defa 1957 yılında kullanılmıştır. İnsan faktörü kavramı sosyoloji, psikoloji, fizyoloji, tıp, mühendislik, yönetim bilimi gibi farklı bilim dalları tarafından üretilen bilimsel bilgi, model ve teorinin uygulamasını sembolize etmek amacıyla kullanılmıştır (Kharoufah vd., 2018: 1). Erken dönemlere bakıldığında insan faktörü kavramı ile ilgili farklı alanlarda yapılan çalışmaları tarihsel süreç içinde görmek mümkündür. 1487 yılında Leonardo Da Vinci antropometri (insan vücudu ile ilgili çizimler) ile ilgili çalışmalara başlamıştır. Araştırmacının "Vitruvius Adamı" adlı çizimi antropometri çalışmalarının en eski kaynakları arasındadır. Aynı zamanda kuşları inceleyen Leonardo Da Vinci, bu incelemelerinden elde ettiği bilgiler ve insan vücudu hakkındaki çalışmaları sayesinde uçan bir mekanizmanın çizimlerini yapmıştır. Antropometri; günümüzde bilgisayar dizaynı, talimatların basitleştirilmesi, ergonomi sorunları ve tasarım alanlarında önemli rol oynamaktadır. 1900'lerin başında endüstri mühendisleri Frank ve Lillian Gilbreth tıpta insan hatalarını azaltmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, ameliyathanelerde doktor ve hemşireler arasındaki iletişim hatalarını gidermek amacıyla geri bildirim sağlama/tekrarlama konsepti geliştirmişlerdir. Bu sözlü konsept günümüzde havacılık sektöründe halen kullanılmaktadır. Pilotların hava trafik kontrolörleri tarafından kendilerine verilen talimatların doğruluğundan emin olmak için verilen talimatları tekrar okuması gerekmektedir. Yanlış okumalarda hava trafik kontrolörleri düzeltme yapar. Frank ve Lillian Gilbreth aynı zamanda yorgunluk üzerine çalışmalarıyla da tanınmaktadır (<https://www.faa.gov>).

Yine 1900'lerin başında Orville ve Wilbur Wright kardeşler motorlu bir uçağı uçuran ve birçok insan faktörü konusunda çalışmalar yapan öncü kişilerdi. Wright kardeşler uçuş kumandaları, aerodinamik tasarım, emniyet kemeri, uçuş similatörü gibi alanlarda havacılığın ilk dönemlerine ait pilot ve uçak etkileşimine

yönelik çalışmalar yaparak uçaklarını teknolojik olarak güçlendirmeye ve pilotların üzerine düşen işyükünü azaltmaya çalışmışlardır. Birinci Dünya Savaşı öncesinde insan ve makine uyumuna yönelik tek test, deneme yanılma testi idi. Eğer insan makine ile uyumlu ise makine ya da ekipman kabul ediliyor, uyumsuz ise kabul edilmiyordu. Birinci Dünya Savaşı (1914-1918)'nin başlamasıyla birlikte daha karmaşık teknolojik sistemlerin ve ekipmanların geliştirilmesi ve personelin bu ekipmanları kullanamaması insan kapasitesi ve sınırlarına yönelik ilginin artmasına neden olmuştur. Bu döneme kadar havacılık psikolojisinin odak noktasında pilotlar olmasına rağmen, zaman ilerledikçe odak noktası uçağa kaymıştır. Pilot mahalindeki siviç ve göstergelerin tasarımı, irtifanın etkisi, pilot üzerindeki çevresel etkiler bu dönemdeki temel kaygılar arasında yer almıştır. Savaş, aynı zamanda test ve ölçüm yöntemleri ile havacılıkla ilgili araştırmalara duyulan ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Bu dönemde sivil sektörde yapılan Hawthorne çalışmaları, aydınlatmanın işçi performansına olan etkisini ölçmeye çalışırken, performans etki eden ve insan davranışlarıyla ilgili motivasyonel faktörleri de ortaya koymuştur. İkinci Dünya Savaşı (1939-1945)'nin başlamasıyla birlikte çalışanları önceden varolan işlerle eşleştirmek giderek daha zor hale gelmeye başlamıştır. Artık ekipmanların tasarımında insanın yetenek ve sınırlarını hesaba katmak gerekiyordu. İnsanın yetenek ve sınırlarını belirlemek için yapılacak araştırmalar çok olduğundan bu ekipman tasarımlarındaki değişiklikler zaman almıştır. Bu araştırmalardan biri, Fitts ve Jones tarafından 1947 yılında uçak kokpitinde kullanılacak kontrol gösterge ve siviçlerinin en etkili tasarımını inceleyen çalışmaydı. Bu dönemde yapılan çalışmalardan elde edilen deneyimler daha sonra yapılan ekipmanların tasarımında etkili olmuştur. İkinci Dünya Savaşını takip eden ilk 20 yılda insan faktörü ile ilgili araştırmalar Alphonse Chapanis, Paul Fitts ve Arnold Small tarafından yapılmıştır. Soğuk Savaş'ın başlamasıyla ABD Savunma Bakanlığı tarafından desteklenen araştırma laboratuvarları büyük ölçüde genişlemiş ve çoğu askeri amaçlar için kullanılmıştır (<https://www.faa.gov>).

Birçok meslek ile kıyaslandığında pilotluk mesleği şüphesiz zor bir meslektir. Sorumluluk seviyesinin yüksek olması, uçuş görevlerinin karmaşıklığı, pilot mahalindeki uçuş göstergelerinin sürekli izlenmek zorunda olması, prosedürlere uyum gösterme, çevresel koşullar gibi faktörler pilotların odaklanma, dikkat, karar verme hızı, doğru hareket tarzı ve hassiyet gibi görevlerine yönelik temel becerilerini etkiler. Pilotlar aynı anda birçok karmaşık görevi yapmak zorunda olduklarından çoğunlukla zaman baskısıyla karşılaşabilirler. Zaman baskısı altında yapılması gereken ekstra eylemler pilotların stresini arttırabilir (Piwek, 2018: 387). Kharoufah vd. (2018) tarafından havacılık kazalarında insan faktörünü incelemek amacıyla yapılan bir araştırmada 2000-2016 yılları arasında meydana gelen ticari hava taşımacılığı olay ve kazaları incelenmiş ve araştırma sonucunda kazalara neden olan en önemli insan faktörünün durumsal farkındalık eksikliği olduğu, ikinci sırayı ise

prosedürlere uymamanın aldığı görülmüştür. Lyssakov ve Lyssakova (2019) tarafından yapılan bir araştırmada, 2012-2018 yılları arasında uçuş ve bakım faaliyetleri sırasında meydana gelen olay ve kazaların sebeplerinin (2012-%80; 2013-%83; 2014-%82; 2015-%70; 2016- %94; 2017-%80; 2018-%75) önemli bir kısmının insan faktöründen kaynaklandığı ve yıllara göre incelendiğinde insan faktöründen kaynaklı kaza sebeplerinin oranlarında önemli bir düşüş olmadığı görülmüştür. Söz konusu araştırmada olay ve kazalara neden olan insan faktöründen kaynaklı görülen yaygın sebepler şunlardır: Uçuş kuralları, pilotaj eğitimi ve bakım faaliyetleri ihlalleri; yüksek otomasyon ve manuel uçuş deneyimi konusunda pilotaj eksiklikleri; uçuş ekibinin uzaysal uyumsuzluk yaşaması; uçuş ekibi eğitim eksiklikleri; pilotların becerileri konusunda abartılı davranması ve kendilerine fazla güvenmesi; uçuş sırasında kontrol kaybı; uçağın operasyonel limitlerini zorlayan ve motorların susmasına neden olabilecek uygun olmayan irtifada ve hızda yapılan uçuş manevraları (dönme, yunuslama vb.); uçuş bölgesi hakkında yetersiz bilgi sahibi olma; meteorolojik koşulları göz ardı etmek ve sarhoşluk etkisi altında uçuş faaliyeti icra etmek.

İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesinden günümüze kadar geçen sürede havacılıkta insan faktörü kavramı üzerine çalışan araştırmacılar, pilotlar ve pilotlara ait görevlerin yanısıra onlarla aktif etkileşim içinde olan hava trafik kontrolörleri ve kabin ekibi ile ilgili emniyet sorunları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu nedenle yakın zamana kadar uçak bakım çalışanlarında insan faktörü olgusu üzerine çalışmalar ihmal edilmiştir. Bu ihmalin nedeni ne olursa olsun uçak bakım faaliyetlerinin havacılıkta önemsiz olduğu anlamına gelmez. Ortalama olarak her bir saatlik uçuş faaliyeti için 12 adam-saat bakımın gerçekleştiği bilinmektedir. Bu nedenle bakım hatalarının uçuş emniyeti üzerinde ciddi etkileri olabilir. Dünya çapındaki ticari uçak kazası araştırmaları, uçak bakım hatalarının uçak gövde hasarı ile sonuçlanan kazaların %4'ünde temel faktör olduğunu göstermektedir (Hobbs, 2008). Havacılık sektöründe pilotların haricinde uçuş faaliyetlerine doğrudan destek veren uçak bakım çalışanlarında da insan faktörü önemli bir kavramdır. Havacılıkta bakım faaliyetleri özellikle uçak malzemeleri ve ekipmanlarının sık sık bakımı, onarımı ve kontrolünü içeren karmaşık bir iş olduğundan dolayı hata yapmaya müsaittir. Belirli uçak bakım görevleri, sık görülmeyen ve tespit edilmesi zor olabilecek hataları ortaya çıkarabilmek için yüksek düzeyde dikkat ve beceri gerektirir. Uçak bakım görevleri çoğunlukla farklı zorlu çalışma koşulları ve zaman baskısı altında gerçekleşen ve çok sayıda hata üretme potansiyeli olan bir havacılık faaliyetidir (Reason ve Hobbs, 2003). Uçak bakım görevlerinde çalışanların performansı, görevin kapsamı ve bakım yapılacak malzemenin tasarımından büyük oranda etkilenir. Bakımı ve tasarım olarak montajı zor malzemeler bakım çalışanlarının hata yapmasına neden olabilirler. Havacılık emniyeti açısından bakım hataları çoğunlukla gizli

hatalardır. Bu nedenle bakım hatası; bakımı yapılan malzeme, araç ya da sistemin arızalanmasına kadar ortaya çıkmayabilir. Uçak bakım çalışanları hatalarının sonuçlarını genellikle hemen ve doğrudan göremeyebilir. Ancak doğrudan görülemeyen bakım hataları, sonrasında havacılık sektöründe ciddi can ve mal kayıplarına yola açabilecek uçak olay ve kazalarına neden olabilir (Pennie vd., 2007).

1988 yılında Hawai’de bir Boeing 737 tipi ticari yolcu uçağının uçuş esnasında gövdesinde meydana gelen parçalanma uçak bakım sektöründe insan faktöründen kaynaklı hataların son derece ciddi ve ölümcül sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymuştur. Bu kazadan sonra 1990’lı yılların başından itibaren uçak bakım faaliyetlerinde görülen insan hataları üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalar içinde en dikkat çekici ve önemli olanı, Transport Canada firması çalışanı Gurdon Dupont tarafından 1993 yılında geliştirilen “Kirliliğe (Dirty Dozen)” modelidir. Bu modele göre, uçak bakım çalışanlarının hata yapmasına neden olan 12 temel faktör; iletişim eksikliği, gönül rahatlığı, bilgi eksikliği, dikkat dağılması, takım çalışması eksikliği, yorgunluk, kaynak yetersizliği, katılım eksikliği, farkındalık eksikliği, yıkıcı işyeri normları, baskı ve stres (Çoban ve Aydoğdu, 2020: 2447). Çoban (2019) tarafından uçak bakım sektörü üzerinde yapılan bir araştırmada aşırı iş yükü ve zaman baskısının uçak bakım teknisyenlerinin performansını etkileyerek iniş takımı değişimi sırasında hata yapmasına neden olduğu görülmüştür. Bu hata sonucunda, yapılan bakımı takiben uçağın ilk uçuşundan sonra piste teker koyduğu sırada sağ iniş takımında sert bir sarsıntı olmuş, uçak sağa doğru sapmış ve sonrasında sağ ana iniş takımında ciddi hasar meydana gelmiştir. Padil vd. (2018) tarafından Malezya’da uçak bakım çalışanları üzerine yapılan bir araştırmada ise insan faktörü ile insan hatası arasında ilişki olduğu ve insan faktörünün örgütsel faktörler ile birlikte çalışanların hata yapmasına neden olan iki önemli faktör olduğu görülmüştür.

İnsan hatası sadece havacılık sektörüne özgü olmayıp tüm olay, kaza ve maddi kayıplarda merkezi rolü olan bir etkidir. İnsan faktörü ile doğrudan ilişkili olan insan hatası kavramı, bir sistem tarafından kabul edilebilir performans değerlerinin belirlendiği bir ortam ya da çalışma koşullarında limitlerin dışına çıkan ve kabul edilemez olarak görülen bireysel eylem ve davranışlardır. Genel havacılık faaliyetlerinde insan hatası daha da ön plana çıkarak havacılık sektörü için önemli kayıplara neden olmaktadır. Örneğin, 2006 yılında ABD’de meydana gelen ölümlü kazaların %79’u pilotaj hatasına bağlanmıştır. Diğer bir araştırmada ise 1992 ve 2001 yılları arasındaki dönemde uçaklarda gövde kaybına neden olan kazaların %66’sının uçuş ekibi ile ilişkili olması nedeniyle günümüzde havacılık kazalarında insan hatasının katkısının oldukça fazla olduğunu söylemek mümkündür. Emniyet sorunlarının yanısıra

insan hatası; uçuş planlarındaki gecikmeler ve değişiklikler, fazladan yakıt maliyeti, ekipman hasarı ve kurumsal imaj kaybı gibi nedenlerden dolayı havayolu işletmeleri için ciddi finansal kayıplara neden olabilir. Örneğin, taksi yolundaki operasyonlar hariç hava limanlarında bir uçağın bir yer ekipmanı ya da bina ile çarpışması sonucu oluşan kazaların %92'si havacılık sektörüne küresel çapta yılda yaklaşık 10 milyar \$ maliyet getirmektedir (Kharoufah vd. 2018: 2).

Havacılık sektöründe yaşanan emniyetsiz olay ve kazaların birçok sebebi olabilir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, uçak kazalarının nedenlerinin teknik nedenlerden çok insan faktörü açısından arttığını ortaya koymaktadır. İnsan faktörünün neden olduğu kazaların sınıflandırılması amacıyla yapılan çalışmalar birçok modelin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Dönmez ve Uslu, 2018: 316). SHELL Modeli, İsviçre Peyniri Modeli, PEAR Modeli ve İnsan Faktörü Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factor Analysis and Classification System - HFACS) en çok bilinen modeller arasındadır. Havacılık sektöründeki faaliyetlerde insan faktörünü sistematik bir bakış açısıyla ele alan modellerden biri SHEL Modelidir. Edwards (1988) tarafından öne sürülen model, başarılı bir insan ve makine etkileşimi ile sistem tasarımı için gerekli olan dört temel bileşeni tanımlamıştır. Söz konusu temel bileşenlerin (Software-S: Yazılım/Sistem: Hardware-H: Donanım: Environment-E: Çevre; Liveware-L: İnsan) baş harflerinin birleştirilmesiyle modelin ismi ortaya çıkmıştır. Modeldeki yazılım bileşeni, günümüzde herkesin aşına olduğu ve bilgisayarların çalışması için gerekli olan yazılımın aksine bir sistemin nasıl çalıştığını, sistemi yöneten kuralları ve düzenlemeleri ifade eder. Donanım, havacılık faaliyetlerinin gerçekleştiği sistem ile ilişkili ekipman, malzeme, donanım ve diğer fiziksel varlıklar ifade etmektedir. Çevre, çalışanların içinde bulunduğu ve görevlerini yaptığı çevresel koşulları tanımlamaktadır. İnsan ise, tüm bu çalışma koşullarında ve sistemin merkezinde olan canlı varlığı başka bir ifade ile çalışanları sembolize etmektedir. Modele göre, yazılım, donanım, çevre ve insan bileşenleri tek başına hareket etmeyen ve etkileşim içinde olan bileşenlerdir. Birçok problem ya da uyumsuzluk bu bileşenlerin/arayüzlerin sınırlarında meydana gelmektedir. Örneğin havacılık sektöründe tarihsel süreç içinde insan/canlı-donanım (insan-makine) etkileşimi odak noktasında olmuştur. Bu etkileşimler özellikle kokpit ve uçuş göstergelerinin tasarımında önemli iyileştirmelerin yapılmasını sağlamıştır (Wiegmann and Shappell, 2003: 26).

James Reason (1997) tarafından geliştirilen ve kazaların nedenlerini araştırmak için en çok kabul gören modellerden biri olan İsviçre Peyniri Modeli, hataları tespit etmek ve önlemek amacıyla bir sistemi bir dizi savunma katmanlarına sahip olacak şekilde yapılandırır. Ancak, sistemdeki bu savunma

katmanları kusursuz değildir. Her bir katmanda aktif ve gizli hataların yapılmasına neden olan kusurlar başka bir ifade ile delikler vardır. Bir örgütsel sistem içinde kazalar, sistem içindeki ardışık savunma katmanlarının üzerinde bulunan deliklerin nadiren birleşmesi sonucu meydana gelir. Bu birleşme sürecinde tehditler insan ve sistem içindeki varlıklarla etkileşime girerek zarar verir. Kazalar ile ilgili onlarca yıl boyunca elde edilen deneyimleri ele alarak geliştirilen model, kazaların oluşmasına katkıda bulunan birçok örgütsel faktörü tanımlamıştır (Demirkesen, 2020: 1942). Reason bu modelde insanların hata yapmaya eğilimli olduğunu dikkate alarak insan hatalarını sistem yaklaşımı içinde ele alır. Bu nedenle sistemin bozulmasına yönelik bariyerler ve emniyet önlemleri geliştirilmiştir. Örgütsel kazalar; emniyetsiz davranışlar, emniyetsiz davranışlara neden olan ön koşullar, emniyetsiz yönetim/denetim uygulamaları ve örgütsel faktörler olmak üzere dört seviyede incelenerek açıklanabilir (Ergai, 2013: 7).

PEAR modeli, havacılık sektöründeki kazalara neden olan önemli insan faktörlerinin (People: işi yapan insan; Environment: işin yapıldığı çevre; Actions: yapılan eylem ve davranışlar; Resources: işin yapılması için gerekli olan kaynaklar) baş harflerinin birleştirilmesi ile oluşturulan bir kısaltmadır. Modelin insan boyutu, havacılık sektöründe faaliyetleri yapan insanlara/çalışanlara odaklanır. Çalışanların görevlerini yaparken ortaya koydukları fizyolojik, psikolojik ve sosyal yönleri ele alınarak kazalardaki insan faktörleri değerlendirilir. Çevre, havacılık faaliyetlerinin gerçekleştiği ve çalışanların performansını etkileyen fiziksel ve örgütsel çevre koşullarını ele alır. Fiziksel çevre işin yapıldığı çalışma ortamındaki ısı, ışık, gürültü, işyeri tasarımı gibi koşullarla; örgütsel çevre ise çalışma ortamındaki iletişim, örgüt kültürü, algılanan işyeri atmosferi, normlar, dayanışma gibi çalışma koşullarıyla ilgilidir. Eylemler, çalışanların işlerini emniyetli ve etkin olarak yapabilmeleri için gerekli olan eylem ve davranışları kapsar. Kaynaklar, faaliyetlerin yapılması için gerekli olan ve çalışanlar, çevre ve eylemlerle ilişkili kaynakları ifade eder. İşlerin yapılmasına yönelik araçlar, ekipmanlar, klavuzlar, bilgisayarlar gibi kaynaklar somut iken; işin yapılması için gerekli personel sayısı ve niteliği, zaman, iletişim düzeyi gibi kaynaklar daha az somuttur (Johnson ve Maddox, 2007: 39).

HFACS modeli, hem sivil hem de askeri havacılık sektöründe kazalara neden olan insan faktörlerinin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan ve doğrulanmış modellerden biridir. Model, Shappell ve Wiegman tarafından ABD donanmasındaki 300'den fazla uçak kazasının incelenmesinden sonra ortaya konmuştur. Shappell ve Wiegman İsviçre Peyniri Modelini temel alarak ve günümüz şartlarına uyarlayarak daha kapsamlı ve kullanışlı bir model olan

HFACS modelini geliştirmiş ve bu model içindeki dört hata seviyesini alt sınıflara ayırmıştır. Bu nedenle model, teori ile pratik arasında köprü kurarak insan faktörünü içeren kaza nedenlerinin tanımlanması ve sınıflandırılmasını sağlayan sistematik önemli bir modeldir. Modelde kazalara neden olan dört başarısızlık seviyesi (emniyetsiz davranışlar, emniyetsiz davranışlara neden olan ön koşullar, emniyetsiz yönetim/denetim uygulamaları ve örgütsel faktörler) ve 17 nedensel faktör bulunmaktadır. Emniyetsiz davranışlar hatalar ve ihlaller olmak üzere iki gruba bölünmektedir. Hatalar, istem dışı, kötü sonuçlara yol açan ve kurallar içinde sergilenen emniyetsiz davranışlar iken; ihlaller bireylerin kendi inisiyatifleri dâhilinde kuralları çiğneyerek sergiledikleri emniyetsiz davranışlardır. Hatalar; karar hataları, algısal hatalar ve yetenek tabanlı hatalar olmak üzere üçe; ihlaller ise rutin ve sıra dışı ihlaller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Emniyetsiz davranışlara neden olan ön koşullar, bireylerin standart dışı uygulamaları ile standart dışı koşulları olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Standart dışı uygulamalar, ekip üyelerinin yanlış uygulamaları ve bireylerin hazır bulunmuşluğunu; standart dışı koşullar ise bireylerin olumsuz zihinsel ve psikolojik durumları ile fiziksel/zihinsel sınırlılıklarını ifade etmektedir. Yönetim/denetim uygulamaları; yetersiz denetim, planlanmış uygun olmayan faaliyetler, bilinen bir problemi çözememe ve denetim ihlalleri olmak üzere dört başlık altında toplanmıştır. Örgütsel faktörler; emniyetsiz yönetim uygulamalarını doğrudan, emniyetsiz davranışları ise dolaylı olarak etkileyen faktörlerdir. Örgütsel faktörler; kaynak yönetimi, örgütsel iklim ve örgütsel süreçler olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır (Shappell ve Wiegmann, 2000; Kharoufah, 2018; Dönmez ve Uslu, 2018).

ASKERİ HAVACILIKTA İNSAN FAKTÖRÜ

Çağımızın hızla değişen dünyasında havacılığın askeri kanadına bakıldığında, savunma bütçeleri üzerindeki yoğun baskıların askeri faaliyetleri etkilediği ve bununla beraber daha sıkışık bir hava sahasında mücadele edilmesi gereken tehditlerin her zamankinden daha karmaşık olduğu görülmektedir. Dünyanın dört bir yanındaki ordular, askeri amaçları için gerekli olan savunma yeteneklerinden ödün vermeden verimlilik sağlayabilecekleri alanlar aramaktadır. Askeri hava araçlarına entegre edilen otonom sistemlerin ve kokpite dâhili ve harici sensörlerden gelen verilerin giderek artması, hava aracının performansı ve emniyetinden sorumlu olan askeri personelin artan tehditlere karşı koyma konusunda zorluklar yaşamasına neden olmaktadır. Bu nedenle askeri havacılıkta gerek uçuş ekibi gerekse uçuşa destek veren tüm personelin daha çevik ve yetenekli olması beklenmektedir (Kirwan vd., 2020: 4). Modern ağ merkezli askeri savaş senaryolarında savaş uçaklarının rolü yakın

geçmişte önemli oranda değişmiştir. Yeni nesil savaş uçakları hem hava hem de yer hedeflerine yüksek hassasiyetle angajman yapma kabiliyetine sahiptir. Çok amaçlı görevler için tasarlanan savaş uçakları günümüzde havadan havaya muharabe, hava savunması, havadan karaya saldırı, yakın hava desteği, düşman hava savunmasının bastırılması, keşif, elektronik harp gibi askeri görevleri yerine getirmektedir. Askeri uçak tasarımcıları öncelikle savaş uçaklarının performansını arttırmak için teknolojiler geliştirmeye odaklanmıştır. Geliştirilen teknolojiler sayesinde askeri uçakların hız, ateş gücü, gizlilik, elektronik savaş, durumsal farkındalık, ve güvenlik açığı kapatma yetenekleri artmıştır. Bununla beraber, söz konusu performansı yüksek askeri uçakların çoklu hareket görevleri sırasında operasyonel gereksinimleri karşılamak için pilotların üzerinde benzersiz fiziksel ve zihinsel iş yükü oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında askeri havacılıkta da insan faktörü, hem başarılı askeri görevlerin yerine gelmesi hem de uçuş emniyeti için önemli bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır (Rajagopal, 2020: 24).

Günümüzde askeri hareket ortamında görev yapan çok amaçlı savaş uçaklarının, farklı hareket görevlerini yerine getirme kabiliyetine sahip olması gerekir. İnsan faktörü açısından düşünüldüğünde tüm görevlerde pilotlar, etkin bir durumsal farkındalığa sahip olmalıdır. Ayrıca her görevin kapsamı, karmaşıklığı ve niteliğine göre pilotların stres seviyesi değişir. Görev performansının artırılması için pilotların üzerine düşen fiziksel ve psikolojik stresin azaltılması gerekir. Pilotların uçuş görevi sırasında maruz kaldıkları yüksek miktardaki verinin yönetilmesi, yapay zeka, artırılmış insan performansı, gelişmiş analitik ve bilgi işlem teknolojileri alanlarındaki gelişmeler pilotların performansına katkı sağlayacaktır. Bununla beraber, çoğu araştırma verisi pilotların otomasyondan memnun olduğunu göstermekle birlikte, bazı durumlarda otomasyonun iş yükünü arttırdığı görülmektedir (Rajagopal, 2020: 25). Pilotlar için uçuş görevi sırasında çok noktadan gelen geniş kapsamlı veri setinin varlığı, iş yükünü arttırırken performansı olumsuz olarak etkiler. Bu nedenle görev etkinliği ve verimliliğinin artırılması için askeri havacılıkta insan faktörü kavramının dikkate alınması gerekir (Shappell ve Wiegmann, 2004). Modern askeri uçaklarda görev etkinliği ve pilotun emniyetini arttırmak için ileri teknolojik gelişmeleri görmek mümkündür. Uçaklardaki bu teknolojik değişimler; pilotların kontrolcu rolünü, yöneten/denetleyen rolüne çevirmiştir. Akeri havacılıkta insan performansını etkileyen ve son dönemde ortaya çıkan teknolojik gelişmeler aşağıda sunulmuştur (Rajagopal, 2020: 26).

Tablo 1. Yeni Askeri Uçak Teknolojilerinin İnsan Performansına Etkisi

Teknolojik Alan	Yeni Teknolojiler	Yeni Teknolojilerin İnsan Performansı Üzerindeki Etkisi
Kokpit Teknolojileri	Pilot Kokpit Arayüzleri	Durumsal farkındalık ve zihinsel iş yükünün artması
	Kaska Takılı ve Baş Aşağı Ekran	
	Arttırılmış Gerçeklik	
	3D Ses	
	Uyarı Panelleri	
İletişim ve Navigasyon	Veri Birleştirme	Verilerin birleştirilmesi ve durumsal farkındalığı artması, zihinsel iş yükünün azalması
	Güvenli İletişim	
	Küresel Konumlama Sistemi	
	Dikkat ve Uyarı Sistemleri	
	İnterkom	
Arama-Tanımlama-İzleme Teknolojileri	Elektro Optik Hedefleme Sistemi	Durumsal farkındalığın artması
	Arazi Haritalama	
	Göz Takibi	
Uçak Kontrol Teknolojileri	Yeni Gaz Kolu Tasarımları	Fiziksel ve zihinsel iş yükünün azalması
	Doğrudan Sesli Komut	
	Yerinden ve Kısa Mesafede Kalkan Uçaklarda Yeni Kontrol Teknolojileri	

Kaynak: Rajagopal, 2020: 26.

Pilot performansını etkileyen çoğu teknolojik gelişme kokpitte yapılmaktadır. Kokpit otomasyonu pilotların aynı anda çoklu veriye ulaşmasını sağladığı gibi pilotların bu verileri işleme konusunda sınırlılıkları mevcuttur. Büyük veri setinin işlenmesi ve yorumlanması pilotun iş yükünü artırır. Bununla beraber, kokpit tasarımı, havalandırma, kokpit basınçlandırma, iklimlendirme, siviçlere erişim, pilot kaskındaki ekran arızaları gibi etkenler pilot performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Askeri uçuş görevlerinde pilotun hızlı basınç kaybı, yüksek G yükü, termal stres, yangın, gürültü ve fiziksel risklere karşı korunması gerekir. Güvenli bir koltuk ve kanopi sistemi de pilotun hayatta kalabilmesi için son gerece hayatidir. Yüksek manevralar sırasında G elbiselerinin henüz yeteri kadar etkili olmadığı gözlemlenmektedir. Pilotun görev performansı ve fiziksel

konforunu arttırmak için fırlatma koltukları ve anti G elbiselerinin maksimum konfora sahip olması gerekir. Hava devriyesi gibi uzun süreli uçuş görevlerinde yaşanan küçük konforsuzluklar pilotların performansını olumsuz olarak etkileyebilir (Rajagopal, 2020: 26). Askeri havacılık çalışanlarının stres toleransı, oryantasyon bozukluğuna karşı direnç, zihinsel esneklik, entellektüel beceri, fiziksel ve zihinsel bağımsızlık ve fiziksel dayanıklılık gibi temel niteliklere gereksinimi vardır. Bu temel nitelikler, çoklu görevleri içeren askeri ve uzay uçuşları sırasında yüksek performans kriterlerine ulaşılmasını sağlar (Lyssakov ve Lyssakova, 2019: 131). Bazı askeri araştırmacılara göre günümüzün askeri pilotları geçmiş dönemdeki pilotlarla kıyaslandığında daha akıllı ve hatta daha iyi karar vericiler olarak değerlendirilse de temel uçuş becerileri açısından geçmiş dönemdeki pilotlar daha yeteneklidir. Bu durum, günümüzün modern askeri uçak pilotlarının kötü ve beceriksiz oldukları anlamına gelmez. Aksine, son derece yetenekli ve parlak pilotlardır. Ancak, bundan yirmi yıl önceki meslektaşlarıyla karşılaştırıldıklarında günümüz askeri pilotlarının manuel yeteneklerinin yanısıra otomasyon ve gelişmiş uçuş sistemlerine de güveniyor oldukları görülmektedir. Bununla beraber, karmaşık ve çoklu askeri uçuş görevlerini kolaylaştıran otomasyon sistemine aşırı bağımlı olmak, modern savaş pilotlarının temel uçuş becerilerinin erezyona uğramasında temel bir faktör olarak görülmektedir. Modern savaş uçaklarının aksine günümüzde çoğu askeri helikopter uçuşu ise hala manuel uçuş kumandalarıyla gerçekleştirilmektedir (Wiegmann ve Shappell, 2003: 106).

Fitts ve Jones (1947, 1961) tarafından ABD Hava Kuvvetleri pilotlarının askeri hava araçlarının kokpit kontrolü sırasında yapmış oldukları hataları belirlemek amacıyla yapılan araştırmalarda tüm hatalar altı başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu hata sınıfları şunlardır: İkame Hataları: Bir kontrolü diğer bir kontrol ile karıştırmak ya da gerekli olduğunda bir kontrolü tanımlayamamak; Ayarlama Hataları: Bir kumandayı çok yavaş veya hızlı çalıştırmak, bir sivici yanlış konuma getirmek ya da aynı anda birkaç kontrol yaparken yanlış sırayı takip etmek; Unutma/İhmal Hataları: Doğru zamanda bir kontrolü yapmamak ya da bir sivicin kilidini açmamak; Tersine Çevirme Hataları: Bir siviç ya da kumandayı olması gereken pozisyonun tersine çevirme; İstem Dışı Aktivasyon: Bir siviç ya da butonun yanlışlıkla çalıştırılması; Herhangi Bir Sivice Ulaşamama: Gerektiğinde fiziksel olarak bir siviç ya da kumanda butonuna ulaşamamak. Bu araştırmada belirlenen hataların %50'sini ikame hataları oluşturmaktadır. Bu hatalar içinden en yaygın olanları; gaz kelebeği kadran kontrollerinin karıştırılması (%19), kanatçık (flap) ve tekerlek kontrollerinin karıştırılması (%16) ve yanlış motor kontrolü (%8) olarak görülmüştür.

Modern bir askeri uçağın pilotu; uçuş göstergeleri, yardımcı pilot, dış çevre, hava trafik kontrolörü gibi birçok kaynaktan gelen bilgi bombardımanına maruz kalır. Pilotlar, bu yoğun bilgi girdisi içinde karmaşık görevleri basitleştirmeye odaklanarak zihinsel ve fiziksel becerilerini doğru zamanda ve yerde kullanmaya çalışırlar. Pilotlar söz konusu becerilerini etkili bir şekilde kullanamadığı ve emniyet/uçuş kurallarına dikkat etmediği takdirde hemen hemen her tür kazada olduğu gibi askeri havacılık kazaları da sürpriz bir şekilde en uygun olmayan zaman ve yerde meydana gelir (Allnut, 1987: 857). 1990-1998 yılları arasında ABD’de meydana gelen ve en az bir algısal hata ile ilişkili askeri ve sivil uçak kazaları üzerine yapılan bir araştırmada, askeri kazaların sivil uçak kazalarına göre daha fazla algısal hata içerdiği görülmüştür. Askeri pilotların genellikle daha dinamik ve agresif uçuş görevleri yerine getirdikleri ve bu durumun kulak ve denge (vestibüler) sistemine zarar verdiği, uzaysal uyum bozukluğuna neden olduğu ve algısal hatalara neden olan olağan dışı tutumlara yol açtığı düşünüldüğünde söz konusu bulgular şaşırtıcı değildir. Periyodik olarak gece görüş gözlüğü takarak nispeten yüksek hızlarda ve düşük irtifalarda gece uçuşu yapan helikopter pilotlarında da algısal hata yapma potansiyeli artmaktadır (Wiegmann ve Shappell, 2003: 142).

Askeri operasyonlar sırasında ortaya çıkan bazı görev koşulları pilotların fiziksel performans sınırlarını zorlayarak uçuş emniyetini riske sokan davranışları beraberinde getirebilir. Askeri uçaklarda ve bununla beraber bazı sivil akrobasi uçaklarında uçuş sırasında meydana gelen G kuvveti, beyne giden kan akışında bir kısıtlamaya sebep olarak bulanık görüşe ve hatta bilinç kaybına neden olabilir. Ayrıca yüksek irtifalarda basınç kaybı ve kabin basıncı olmayan uçaklarda oksijen takviyesi olmadan yüksek irtifalarda manevra yapmak, açık bir şekilde hipoksiye neden olabilir. Bu durum da sayıklama, şaşkınlık ve kafa karışıklığı gibi emniyetsiz pilot davranışlarını beraberinde getirebilir (Wiegmann ve Shappell, 2003: 26). Yorgunluk, uçuş ekibinin performansını etkileyen önemli bir fiziksel faktördür. Hem askeri hem de sivil uluslararası uçuş ekiplerinin katılımıyla gerçekleşen bir araştırmada uyku hali, bilişsel yavaşlık ve konsantrasyon güçlüklerinin uçuş ekibinde görülen yorgunluğun yaygın nedenleri arasında olduğu görülmüştür. Özellikle uluslararası uçuşlar gerçekleştiren pilotlar, yorgunluklarını düzenli uyku yoksunluğu ve saat dilimi geçişleri nedeniyle ortaya çıkan sirkadiyen ritim bozukluklarına bağlamaktadır. 12 saat ve daha uzun mesafeli ticari uçuşlarda pilotlara uyuma fırsatı verilmesine rağmen, araştırmalar evde sakin bir ortamda uyumanın gürültü, türbülans, sıcaklık ve diğer çevresel koşullar nedeniyle uçuşta uyumaktan daha etkili olduğunu kanıtlamaktadır (Caldwell, 2005).

Havacılık sektöründe insan faktörü kavramı, bir bireyin işini yaparken istem dışı olarak yaptığı ve sonucunda emniyetsiz bir durumun ortaya çıkmasına neden olan insan hatalarını tanımlamaktadır. 1990'lı yılların başından itibaren uçak bakım sektöründe insan hataları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, diğer birçok faktörle birlikte zaman baskısı ve stresin uçak bakım teknisyenlerinin hata yapmasına sebep olduğu görülmüştür. Sivil havacılık sektöründe havayolu işletmelerinin ticari kaygıları, askeri havacılıkta ise ani gelişen güvenlik risklerini etkisiz hale getirmek için yapılan harekât uçuşları nedeniyle uçak bakım teknisyenleri genellikle zaman baskısı altında çalışır. Savaşa hazır olmayı en üst düzeyde tutmak için barış zamanında yapılan eğitim uçuşları ve potansiyel risklere karşı personel, uçak, ekipman ve malzeme desteği verme ihtiyacı askeri uçak bakım faaliyetlerinde zaman baskısını önemli bir stres kaynağı haline getirmektedir. Bununla beraber hem sivil hem de askeri havacılıkta teknoloji kullanımı yüksek düzeydedir. Bu nedenle, merkezinde bakım teknisyenlerinin olduğu uçak bakım faaliyetlerinde teknolojik malzeme, cihaz ve ekipman sıklıkla kullanılmaktadır. Teknolojinin yoğun olarak kullanıldığı bir çalışma ortamında bakım teknisyenlerinin teknostres yaşaması olasıdır (Çoban ve Aydoğdu, 2020: 2443-2447). Çoban (2107) tarafından Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığının uçak bakım birimlerinde yapılan bir araştırmada insan faktöründen kaynaklanan üç adet örnek olay incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre; teknik doküman kullanmama, aşırı özgüven, gönül rahatlığı, iletişim eksikliği, koordinasyon ve durumsal farkındalık yetersizliği gibi bakım personelinin iş yükünün artmasına ve emniyetsiz sonuçlara neden olabilecek insan hatalarının olduğu görülmüştür. Ekvator Deniz Kuvvetlerinin havacılık birimlerinde çalışan bakımçı personel üzerinde Ayala (2012) tarafından yapılan bir diğer araştırmada ise gürültü, vardiyalı çalışma düzeni ve yoğun baskı altında çalışma gibi faktörlerin çalışanların iş yükünü etkilediği görülmüştür.

ARAŞTIRMA

ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

İnsan faktörü kavramı hem sivil hem de askeri havacılıkta kazalara neden olması nedeniyle havacılık emniyeti literatüründe önemini koruyan önemli bir kavramdır. Bu kapsamda literatür taraması ışığında yapılan bu araştırmanın amacı, askeri hava aracı kazalarına neden olan insan faktörü olgusunu nitel bir bakış açısıyla derinlemesine incelemektir. Bu nedenle araştırma amacına uygun olarak; Askeri hava aracı kazalarına neden olan temel insan faktörleri nelerdir? ve Kazalara neden olan temel insan faktörleri hangi alt faktörlere ayrılmaktadır? soruları sorularak araştırmaya yön verilmiştir. Son 10 yıl içinde dünyanın farklı

bölgelerinde, farklı görev tipleri ve çevresel koşullarda meydana gelmiş askeri hava aracı kazalarındaki insan faktörlerini nitel bir bakış açısıyla derinlemesine ele alması nedeniyle, araştırmanın insan faktörü, havacılık emniyeti ve askeri havacılık ile ilgili literatüre özgün bir katkı yapacağı düşünülmektedir.

YÖNTEM

Bu çalışmada nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji (olgubilim) deseni kullanılmıştır. Yaşadığımız dünyada olaylar, deneyimler, algılar, kavramlar ve durumlar olarak karşılaştığımız olguları araştırmayı amaçlayan fenomenoloji, söz konusu olgular hakkında ayrıntılı veriler elde etmek için gerekli zemini oluşturur. Fenomenolojik araştırmalar, bir olgunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacak sonuçları sağlayacak örnekler ve açıklamalar ortaya koyarak hem literatüre hem de uygulamaya yönelik önemli katkılar sağlayabilir (Yıldırım ve Şimşek, 2018: 69). Fenomenoloji, hakkında fikir sahibi olduğumuz ancak ayrıntılı bir bilgiye sahip olmadığımız bir olgunun derinlemesine incelenmesi ve anlaşılması amacıyla yapılır. Fenomenolojik araştırmalar, olgunun altında yatan ortak anlamları keşfetmek için bireyler tarafından yaşanmış deneyimlerin özünü açıklamaya çalışır. Olguyla ilgili yaşanan deneyimleri belirlemek ve söz konusu deneyimlerin ya da algının olduğu çevreyi iyi analiz etmek üzere iki önemli amaca hizmet eder. Fenomenolojik bir çalışmada incelenen olguyu her yönüyle anlayabilmek için görüşmeler yapmak, dökümanları incelemek, video izlemek, olayların yaşandığı mekânları ziyaret etmek gibi farklı veri toplama yöntemleri ayrı ayrı kullanılabilir gibi bu yöntemler birlikte de kullanılabilir (Sığı, 2021: 186). Bu nedenle, askeri hava aracı kazalarında insan faktörü olgusu, fenomenolojik bir araştırma kapsamında ele alınarak incelenmiştir.

ÖRNEKLEM

Askeri havacılıkta hava aracı kazalarına neden olan insan faktörlerini incelemek amacıyla resmi bir internet sitesinde (www.airforcemag.com) yayımlanmış olan ABD askeri hava araçları kaza raporları araştırma kapsamına alınmıştır. Kaza raporları amaçlı örnekleme yöntemine göre seçilmiştir. Amaçlı örnekleme yöntemi, araştırma probleminin en iyi şekilde anlaşılmasını sağlayan katılımcıları ya da çalışma alanlarını (döküman, görsel metaryel vb.) seçmek için araştırmacıya imkan sağlar (Creswell, 2017: 189). Araştırmada örneklem büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla “doyum noktası” yöntemi kullanılmıştır. Doyum noktası yöntemine göre, nitel çalışmada temalar doygunluğa ulaştığında ve yeni verilerin toplanmasıyla ilgili yeni bakış açıları ortaya çıkmadığında veri toplama süreci durdurulmalıdır (Creswell, 2017: 189). Bu kapsamda 2011-2020 yılları arasında dünyanın farklı coğrafi bölgelerinde ABD Hava Kuvvetleri Komutanlığına ait 115 hava aracı kazası incelenmiş ve bu

kazalardan 78'inde kazalara neden olan ya da katkı sağlayan 363 adet insan faktörü belirlenerek incelenmiştir. Örneklem büyüklüğünün araştırma amacına uygun olduğu ve yeterli veriyi sağladığı düşünülmektedir.

VERİ TOPLAMA YÖNTEMİ

Araştırmada veri toplama yöntemi olarak döküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Döküman analizi, araştırmaya konu olan olgu hakkında bilgileri kapsayan yazılı ya da benzeri türdeki materyallerin incelenmesine imkân veren bir nitel araştırma veri toplama tekniğidir. Döküman analizi tek başına bir veri toplama aracı olduğu gibi diğer nitel veri toplama araçlarının yanısıra ek veri kaynağı olarak da kullanılabilir (Sığırı, 2021: 248). Nitel araştırmada doğrudan gözlem ve görüşme yapmaya imkân olmadığı durumlarda araştırma soru ya da sorularıyla ilgili önemli yazılı ve görsel materyaller veri kaynağı olarak kullanılabilir. Döküman analizi, araştırmacıya zaman ve para tasarrufu, uzun süreli çalışma ve istenilen örneklem sayısına imkân vermesi ile nitelikli belgeler sunması açısından avantajlıdır (Yıldırım ve Şimşek, 2018: 189-192). Askeri havacılıkta bilgi güvenliğinin önemli olması ve bu nedenle askeri kurumların araştırma amacına uygun dökümanları paylaşmak istemeyeceği düşünüldüğünden veri toplamak amacıyla yazılı ve görsel basında yer alan resmi askeri hava aracı kaza raporlarının incelenmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda "www.airforcemag.com" resmi internet sitesinde kamuya açık ABD askeri hava araçlarına ait kaza raporlarına ulaşılmış ve incelenmiştir. Söz konusu raporlar, 51-307 Numaralı ABD Hava Kuvvetleri Komutanlığı Talimatı (Air Force Instruction 51-307) çerçevesinde resmi kurullar tarafından yapılan ve bir hava aracı kazasının tüm yönlerini ortaya koyan resmi raporlardır. Bu raporların her birinin 11. bölümünde hava aracı kazasına neden olan ya da katkı sağlayan insan faktörleri sistematik bir şekilde incelenerek ortaya konmuştur. ABD'nin dünyanın en büyük hava gücüne sahip olması, farklı hava aracı (savaş uçağı, kargo uçağı, helikopter, insan hava aracı (İHA) ve diğer hava araçları) kaza verilerine yer vermesi, resmi bir otorite tarafından sistematik bir bakış açısıyla hazırlanması nedeniyle söz konusu raporların araştırma amacına uygun verileri sağladığı düşünülmektedir.

VERİ ANALİZ YÖNTEMİ

Araştırmada toplanan verileri analiz etmek için betimsel analiz yöntemi kullanılmıştır. Betimleme; bir kişinin, nesnenin, olayın ya da olgunun özelliklerini kelimelerle ifade etmektir. Betimsel analizde araştırmacılar, çoğunlukla katılımcıların kendi ifadelerinden ya da araştırmacının veri kaynağı olan dökümanlardan doğrudan alıntı yapar ve alıntıları mümkün olduğu kadar değiştirmeden okuyucuya sunar. Nitel araştırmalarda yapılan betimsel analizlerde araştırmacı, gerçekte ne olduğunu aynen aktarmakla kalmaz aynı

zamanda incelenen olgunun hangi şartlar altında ve hangi amaçla meydana geldiğini, olgunun geri planında neler yattığını yorumlayarak aktarmaya çalışır. Betimsel analizde elde edilen veriler daha önceden belirlenen tema ve kodlara göre sınıflandırılır. Betimsel analiz temel olarak dört aşamadan meydana gelir. Bu aşamalar; betimsel analiz için bir kavramsal çerçeve oluşturulması, tematik çerçeveye göre verilerin işlenmesi, bulguların tanımlanması ve bulguların yorumlanmasıdır (Sığırı, 2021: 279). Söz konusu betimsel analiz aşamaları çerçevesinde araştırma sorularına cevap bulabilmek amacıyla ABD Savunma Bakanlığı İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi Versiyon 7 (Department of Defense Human Factors Analysis And Classification System (DoD HFACS) Version 7.0) referans alınarak bir kavramsal model oluşturulmuştur. DoD HFACS, kaza ve olaylara neden olan insan faktörlerinin/hatalarının soruşturma heyetleri tarafından sistematik ve çok boyutlu bir şekilde incelenmesine imkân veren bir model olarak tasarlanmıştır. Bu modelin insan hata kalıplarını yapısal olarak analiz eden (ayrıntılı, eksiksiz ve operasyonel odaklı); sadece “ne”ye değil, “neden”e ulaşan (daha çok kök neden belirleme ve daha etkin risk yönetimi); veriye dayalı yaklaşım (yeni, eski ve her türlü olaya uygulanabilen) içeren ve operasyonel durumların dışında da kullanılabilen (risk yönetimi için beyin fırtınası yapma, mülakat soruları geliştirme, görev içi ve dışı kazalarda kullanılabilme) birçok faydalı özelliği bulunmaktadır (Şekil 2). Bu modele göre, askeri hava aracı kazalarına neden olan insan faktörleri temalar ve kodlar altında sınıflandırılmış; organize edilen veriler tanımlanmış ve gerekli yerlerde kaza raporlarından doğrudan alıntılar yapılarak desteklenmiş ve bulgular veri toplama sürecinin doğal bir parçası olan araştırmacı tarafından tarafsız bir şekilde ilişkilendirilmiş ve yorumlanmıştır. Araştırma verilerinin toplanması ve analizinde Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Örgütsel Faktörler	Yönetimsel Faktörler	Ön Koşullar	Emniyetsiz Davranışlar
<ul style="list-style-type: none"> •Kaynak Sorunları •Personel Seçimi ve Kadrolama •Örgütsel Süreçler •Örgüt Kültürü ve İklimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Denetim İhlalleri • Planlanan Emniyetsiz Faaliyetler •Yetersiz Denetim 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiziksel Çevre • Teknolojik Çevre • Fiziksel Sorunlar • Psikolojik Durum • Duyusal Yanlış Algılama • Zihinsel Farkındalık • Takım Çalışması 	<ul style="list-style-type: none"> • Performans Kaynaklı Hatalar • Karar Verme Hataları • İhlaller

Şekil 2. ABD Savunma Bakanlığı İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi

Kaynak: https://www.dcms.uscg.mil/Portals/10/CG-1/cg113/docs/pdf/DoD_HFACS7.0.pdf?ver=2017-02-23-152408-007, [25.09.2021 tarihinde erişilmiştir.]

Geçerlilik ve Güvenirlik: Bilimsel bir araştırmanın inandırıcılığının en önemli kistasları olan geçerlik ve güvenilirliğin sağlanması için bu çalışmada aşağıdaki yaklaşımlar benimsenmiştir (Creswell, 2017; Yıldırım ve Şimşek, 2018; Sığı, 2021):

- Araştırmanın yöntemi, süreci ve sonuçlarına yönelik yapılan çalışmalar açık, detaylı ve başka bir araştırmacının değerlendirmesine imkân verecek şekilde belirtilmiştir.
- Araştırma örnekleme amaçlı örnekleme yöntemine göre seçilmiştir. Bu kapsamda araştırma amacına yönelik verileri zenginleştirmek için dünyanın farklı coğrafi bölgelerinde ABD'ne ait farklı askeri hava araçlarının dâhil olduğu kazalara ait raporlar incelenmiştir.
- Araştırmanın veri kaynağı olan askeri hava araçları kaza raporları ile uzun süreli etkileşim sağlanarak derinlemesine inceleme yapılmış ve detaylı veriler toplamaya çalışılmıştır. Araştırmanın ham verileri başkaları tarafından incelenebilmesi için saklanmıştır.
- Ayrıntılı betimleme ile ham veriye sadık kalınarak ortaya çıkan kod ve temalar yorum katmadan ortaya konarak okuyucuya aktarılmıştır. Araştırmanın iç tutarlılığı için aynı tema altında birbiriyle ilişkili kodlar homojen, anlamlı, objektif ve amaca uygun bir şekilde sunulurken; dış tutarlılık için temaların araştırmanın bütünü için anlamlı olmasına dikkat edilmiştir.
- Araştırmanın konusu, süreci ve nitel araştırma yöntemleri hakkında askeri uzman, havacılık yönetimi alanında akademisyen, uygulayıcılar, istatistikçiler ve alanında uzman kişilerin görüşleri alınmış; gelen geri bildirimler doğrultusunda araştırmanın niteliğini artırmak için düzeltmeler yapılmıştır.

BULGULAR VE ANALİZ

HAVA ARACI KAZALARI İLE İLGİLİ BULGULAR

ABD askeri hava aracı kazaları ile ilgili tanımlayıcı istatistikler Tablo 2 ve 3'te sunulmuştur.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler-1

Kaza Sayısı: 78	Kaza Yapan Hava Aracı Türleri									
	Savaş Uçağı	Kargo Uçağı	Helikopter	İHA	Diğer Uçaklar					
	F-16	21	C-130	6	HH-6G	3	MQ-1B	9	T-38	2
	F-15	6	C-17	1	UH-1H	1	MQ-9A	7	T-6	2
	A-10	3					RQ-4B	1	A-29	2
	F-35	2							CV-22	2
	F-22	1							KC-135	1
	RF-4	1							KC-13	1
Hava Aracı Türü									KC-10	1
									E-11	1
									MC-12W	1
									M-28	1
									U-28	1
									TARS	1
Kazanın Meydana Geldiği Yer										
	ABD	21	Afganistan	3	ABD	2	ABD	10	ABD	10
	Japonya	4	ABD	2	Birleşik Krallık	1	Afganistan	4	Afganistan	4
	Birleşik Krallık	2	Almanya	1	Japonya	1	Seyşeller	2	Kırgızistan	1
	Almanya	2	Irak	1			İspanya	1	Cibuti	1
	İtalya	1								
	Güney Kore	1								
	Afganistan	1								
	Libya	1								
	Atlantik Okyanusu	1								
N		34		7		4		17		16
		%44		%9		%5		%22		%20
%		%44		%9		%5		%22		%20

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde kazalara karışan hava araçlarının çoğunluğunu muharip savaş uçaklarının (%44) oluşturduğu görülmektedir. Savaş uçakları içinde ise diğer uçaklarla kıyaslandığında F-16 uçaklarının daha fazla kaza gerçekleştirmiş olduğu görülmektedir. 2020 verilerine göre ABD Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterindeki bombardıman uçakları hariç, 2127 muharip savaş uçağının 936 adetini F-16 uçakları (781 adet F-16C ve 155 adet F-16D) oluşturmaktadır (<https://www.statista.com>). Helikopter (%5) ve kargo uçağı (%9) kaza sayıları sınırlı iken insansız (%22) ve diğer hava araçları (%20) kaza sayısının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Diğer hava araçları grubunda eğitim uçakları, küçük pervaneli uçaklar, havada yakıt ikmal uçakları, askeri balon gibi hava araçları yer almaktadır. Kazaların meydana geldiği ülkelere bakıldığında kazaların çoğunluğunun (%58) ABD sınırları içinde farklı eyalet ve hava üslerinde meydana geldiği; ABD'den sonra Afganistan ve Japonya'nın geldiği; bununla beraber Avrupa, Afrika, Orta Doğu, Orta Asya, Uzak Doğu ülkeleri gibi farklı coğrafyalar ve çevresel koşullarda meydana gelen askeri hava aracı kazalarını görmek mümkündür.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler-2

	Kaza Sonucu Hasar									
	Savaş Uçağı	Kargo Uçağı	Helikopter	İHA	Diğer Uçaklar					
Can Kaybı	1	18			10					
Ağır Yaralı	9		10		5					
Hafif Yaralı	13	2	3		10					
Maddi Hasar	886.133.064 \$	365.096.993\$	83.220.795 \$	207.163.614 \$	225.562.719 \$					
	Kazanın Meydana Geldiği Yıl									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Savaş Uçağı	6	4	6	3	2	3	3	4	1	3
Kargo Uçağı		2	1		2					2
Helikopter	1		1	1				1		
İHA	1	4	2	1	3	3	1	1		1
Diğer Uçaklar	3	3	2	1		1	1	3	1	1
Toplam: 78	11	13	12	6	7	7	5	9	2	7

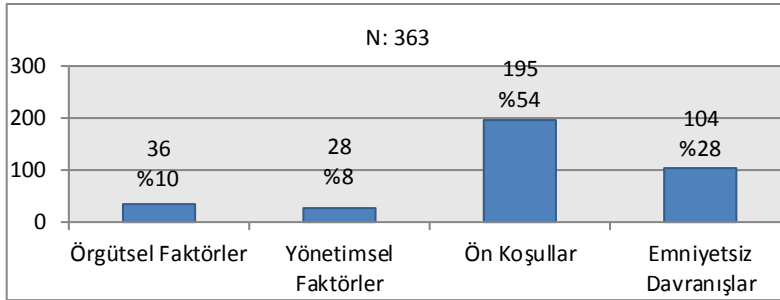
Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Tablo 3'teki hava aracı kazaları sonucu oluşan maddi ve can kayıpları incelendiğinde en fazla can kaybının kargo uçakları (N: 18) ve diğer hava aracı (N: 10) kazalarında olduğu görülmektedir. Kargo uçaklarında uçuş ekibinin diğer uçaklara göre sayıca fazla olması, kargo uçaklarında yükün yanısıra yolcu da

taşınması ve pilot fırlatma sistemlerinin olmaması nedeniyle kargo uçakları kazalarındaki can kayıpları artmış olabilir. Helikopter (N: 10) ve muharip uçaklarda (N: 9) ağır yaralı sayısı fazla iken İHA kazalarının insansız olduğu için can kaybına yol açmadığı görülmüştür. Savaş uçaklarındaki ağır ve hafif yaralanmaların büyük çoğunluğunun kaza sırasında pilotun koltuğunu fırlatması ve sonrasında yere inmesi sürecinde meydana geldiği görülmüştür. Kaza sonucunda oluşan maddi hasarlar incelendiğinde en fazla hasarın savaş uçakları kazaları (886.133.064 \$) sonucunda olduğu görülmüştür. Bu durum, savaş uçakların yüksek teknoloji ile donatılması, pahalı mühimmatlar taşınması, yüksek hızlarda uçuşması, diğer hava araçlarına göre sayıca daha fazla olması ve zorlu çevresel koşullarda hareket görevleri yapmasından kaynaklanabilir. En az hasar miktarının ise helikopter kazalarında (83.220.795 \$) olduğu tespit edilmiştir. Bu durum helikopter kaza sayısının (N: 4) az olmasından kaynaklanabilir. Ancak, helikopter kaza sayısı diğer hava aracı kazalarına kıyasla az olmasına rağmen söz konusu kazalardaki ağır yaralanan personel ve yolcu sayısı (N: 10) diğerlerine göre daha fazladır. Hava aracı kazalarının son on yıl içindeki dağılımına bakıldığında 2011 ve 2013 yılları arasında kaza sayısının diğer yıllara oranla daha fazla olduğu; muharip uçak, İHA ve diğer hava aracı kazalarının neredeyse her yıl meydana geldiği; ancak kargo uçağı ve helikopter kazalarının yıllara göre düzenli bir şekilde meydana gelmediği görülmüştür. Kargo uçakları ve helikopterlerin diğer hava araçlarına göre sayısı, uçuş saati, sorti sayısı, görev koşulları gibi faktörler her iki hava aracı grubundaki kazaların az ve yıllara göre düzensiz olmasının nedeni olabilir.

KAZALARA NEDEN OLAN İNSAN FAKTÖRLERİ İLE İLGİLİ BULGULAR VE ANALİZ

Araştırma kapsamında incelenen askeri hava araçlarının 2011 ve 2020 yılları arasında dâhil olduğu 78 kazaya neden olan veya katkı sağlayan 363 insan faktörü dört temel tema altında Şekil 3'te sunulmuştur.



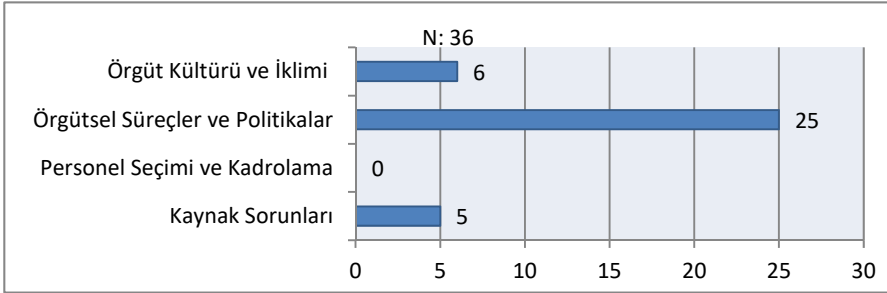
Şekil 3. Askeri Hava Aracı Kazalarına Neden Olan Temel İnsan Faktörleri Temaları

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde hava aracı kazalarında insanların hata yapmasına neden olan faktörler; örgütsel faktörler, yönetsel faktörler, ön koşullar ve emniyetsiz davranışlar olmak üzere dört ana tema altında sınıflandırılmıştır. Temalar incelendiğinde kazalara neden olan insan faktörlerinin yarısından fazlası (%54) kazaya sebep olan ön koşullardan başka bir ifadeyle kazanın gerçekleştiği çevresel koşullar ve kazaya dâhil olan bireylerin fiziksel ve zihinsel durumundan kaynaklandığı görülmüştür. Ön koşulları takiben sırasıyla uçuş ekibinin sergilediği emniyetsiz davranışlar (%28), örgütsel faktörler (%10) ve yönetsel faktörler (%8) hava aracı kazalarının oluşumunda etkili olmuştur. Söz konusu temalara ait alt temalar, kodlar, frekanslar ve kaza raporlarından aktarılan doğrudan alıntılar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

ÖRGÜTSEL FAKTÖRLER

Bir örgüt ya da kurumun uygulamalarını, çalışanların faaliyetlerini, görev koşulları ve örgütsel eylemleri doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen örgütün üst düzey yönetiminin uygulamaları, iletişim tarzı, politikaları ve ihmallerini ifade eden faktörlerdir. Örgütsel faktörler; kaynak sorunları, personel seçimi ve kadrolama, örgütsel süreçler ve politikalar ile örgüt kültürü ve iklimi olmak üzere dört alt temadan oluşmaktadır. Söz konusu alt temalar ve alt temaları oluşturan kodlar Şekil 3 ve Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 4. Kazalara Neden Olan Örgütsel Faktörler

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Kaynak sorunları: Örgütsel faaliyetler sırasında çalışanların hata yapmasına ve emniyetsiz durumların oluşmasına neden olan örgütsel kaynaklardaki yetersizlikleri ifade etmektedir. Hava araçlarının uçuş görevi sırasındaki komuta-kontrol yetersizlikleri, altyapı eksiklikleri, zamanında modernize edilemeyen ekipmanlar gibi faktörler kaynak sorunları alt teması altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4. Kazalara Neden Olan Örgütsel Faktörler

S/N	Alt Temalar	Kodlar	N	Toplam	%
1	Kaynak Sorunları	Komuta Kontrol Kaynaklarında Yetersizlik	3	5	14
		Hava Üssünün Yetersiz Alt Yapısı	2		
		Eski Ekipmanların Servisten Kaldırılmaması/Yenilenememesi	1		
2	Personel Seçimi ve Kadrolama	-	-	-	-
3	Örgütsel Süreçler ve Politikalar	Örgütsel Program ve Politika Risklerinin Yeterince Değerlendirilememesi	1	25	69
		Prosedürel Yayın ve Klavuzların Yetersizliği	16		
		Örgütsel Eğitim Yetersizliği	8		
4	Örgüt Kültürü ve İklimi	Örgüt Kültürünün Emniyetsiz Davranışlara Uygun Olması	3	6	17
		Ekipman Konusunda Örgütün Aşırı Güven veya Güvensizlik Duyması	3		

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

“92-3883 Kuyruk Numaralı (K/N) F-16C savaş uçağının 20 Şubat 2018 tarihinde kalkış (take off) sırasında yapmış olduğu kaza, motor yangını nedeniyle meydana gelmiştir. Bu yangına neden olan eskimiş ve çatlak türbin çerçevesi ön kaplamasının (türbin frame forward fairing) tüm F110 motorlarında değiştirilmesi yayınlanan bir teknik emir ile kaza tarihinden çok önce emredilmiş, ancak bu değiştirme süreci içinde tedarikçi firma tarafından gönderilen eski malzemeler de kullanılmaya devam edilmiştir. Ancak, F110 motorunda güncellenen bir donanımının performansına dayanamayarak hasar gören bu eski malzeme, uçağın kalkışı sırasında motor yangınına neden olmuştur. (Misawa Hava Üssü, Japonya, 987.545 \$ hasar)”

“07-7189 K/N’lı C-17A kargo uçağı, 23 Ocak 2012 tarihinde inişi takiben pistte duramamış ve pist sonunda toprağa çıkarak kaza geçirmiştir. Kaza sırasında, kargo uçaklarının inişi için pistin genel durumunu değerlendirmek amacıyla hava üssü alt yapısının yetersiz olması ve uçuş kulesinin yerinin, hava trafik kontrolörlerinin kargo uçağının pozisyonu ve pistin genel durumunu değerlendirmelerine imkân vermemesi kazanın meydana gelmesine katkı sağlamıştır. Hava trafik kontrolörleri kaza sırasında pistte bulunan süpürme

aracı sürücüsü ile iletişim kurarak pistin genel durumu hakkında bilgi almaya çalışmıştır. (Shank İleri Operasyon Hava Üssü, Afganistan, 69400000 \$ hasar)”

Personel Seçimi ve Kadrolama: DoD HFACS modelinde bu alt tema, personel ya da insan kaynağı yönetim sistemi ile ilgili örgütsel politika ve kuralların, emniyet ve hata yönetim sistemine etkisini ifade etmektedir. Kaza raporları içinde bu alt tema ile ilgili herhangi bir insan faktörü görülmemiştir.

Örgütsel Süreçler ve Politikalar: Bireysel ve örgütsel performansı negatif etkileyerek emniyetsiz durumların oluşumuna neden olan örgütsel işleyiş, kurallar, süreçler ve politikalar. Örgütsel politika, süreç, eğitim ve dökümantasyon konusundaki yetersizlikler, riskler ve değerlendirme eksiklikleri bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“12-552 K/N’lı F-3FA uçağında 23 Eylül 2016 tarihinde motor çalışması sırasında kuyruk rüzgarının etkisiyle kontrolsüz motor yangını çıkmış ve yanan uçaktan pilot koltuğunu fırlatarak kurtulmuştur. Olay sırasında kuyruk rüzgarının motor çalıştırmasına etkisi ile ilgili ikazların pilotun kullandığı çeklist içinde yer almaması ve pilotun kuyruk rüzgarı olması durumunda motor çalıştırması ve bu çalıştırma sırasında spesifik motor limitleri konusunda eğitimsiz olması motor yangının oluşumuna katkı sağlamıştır. (Mountain Home Hava Üssü, Idaho-ABD, 17.000.000 \$ hasar)”

“02-3089 K/N’lı MQ-1B tipi İHA 4 Nisan 2014 tarihinde eğitim uçuşu sırasında pist zeminine çarparak kaza geçirmiştir. Bu kazaya İHA’nın kıdemli pilotunun, pilot kaynaklı salınımdan kaçınmak için gerekli kritik prosedürü doğru bir şekilde uygulayamaması ve pilotun eğitim eksikliği katkı sağlamıştır. (Creech Hava Üssü, Nevada-ABD, 4.500.000 \$ hasar)”

Örgüt Kültürü ve İklimi: Örgüt kültürü, örgüt çalışanlarının davranışlarına yön veren kalıcı değerler, normlar ve kurallar bütünüdür. Örgütsel iklim ise çalışanların örgüte hâkim olan havayı algılaması sonucu ortaya çıkan ve hissedilen iş atmosferini ifade eder. Her örgütün kendine özgü bir iklimi, kimliği ve ortamı vardır (Deniz ve Çoban, 2016: 50). Örgüt kültürü ve iklimi, birçok örgütsel faktörden etkilenecek çalışanların hata yapmasına neden olabilecek bir iş ortamına neden olabilir. Askeri kurumlarda komuta yapısı, yönetim tarzı, iletişim şekli, iş görme usulleri, örgüte ve ekipmanlarına aşırı güven bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili bir kaza raporundan yapılan doğrudan alıntı aşağıda sunulmuştur.

“91-0304 K/N’lı F-15E savaş uçağı 21 Mart 2011 tarihinde gece harekâtı uçuşu sırasında kontrol edilemez bir dönüş hareketi içine girmiş ve sonucunda

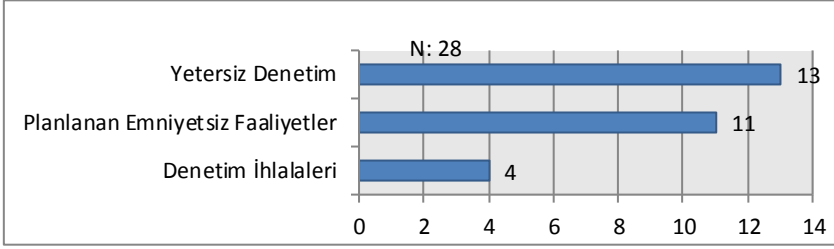
yerleşim alanı dışında bir yere düşmüştür. Uçağın pilotu ve silah sistem subayı koltuklarını fırlatarak ve hafif yaralı bir şekilde bu kazadan kurtulmuştur. Yüksek irtifada uçağın maruz kaldığı dengesiz yüklerle rağmen uçuş ekibinin uçağın manevra kabiliyetlerine aşırı güven duyması bu kazanın olmasına katkı sağlayan emniyetsiz görev koşullarını doğuran örgüt kültürü ile ilgili faktörler arasındadır. (Bingazi, Libya, 48.190.996 \$ hasar)”

Tablo 4'teki hava aracı kazalarına neden olan örgütsel faktörler incelendiğinde, örgütsel faktörlerin çoğunluğunu örgütsel süreçler ve politikalarla ilgili faktörlerin (%69) oluşturduğu; kaynak sorunları (%14) ile örgüt kültürü ve iklimi (%17) ile ilgili faktörlerin birbirine yakın olduğu; personel seçimi ve kadrolama ile ilgili faktörlerin ise olmadığı görülmüştür. Örgütsel süreçler, bir örgütteki birbirine bağlı ve takip eden görevler zincirinden oluşan bir işleyiş olarak örgütsel politikalar doğrultusunda cereyan eder. Örgütün en değerli kaynağı olan insan kaynağı ile birlikte maddi ve entellektüel sermayesi de bu süreçlerin sorunsuz işleminde oldukça etkilidir. Havacılıkta pahalı ve yüksek teknoloji ürünü hava araçlarını uçuran ve uçuşu destekleyen askeri personelin her zaman eğitilmiş olması gerekir. Görevi ile ilgili eğitim almayan ya da eğitimini tazelemeyen personel örgütsel süreçlerin aksamasına ve emniyetsiz koşulların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Ayrıca örgütsel süreçlere yön veren değerler, kurallar ve politikalar toplamı olan örgüt kültürü ve örgüt kültürünün geçici yansıması olan örgüt iklimi; personelin görevleri sırasında yapacakları risk değerlendirmeleri ile kendilerine ve kullandıkları hava araçlarının kabiliyetlerine bakış açılarını etkileyecektir. Örgüt iklimi personelin algıladığı iş ortamı olarak çoğunlukla yöneticinin tarzından etkilenir. Askeri havacılıkta komutan ya da kıdemli personelin otoriter, katılımcı, babacan ya da demokrat yönetim tarzı ekip arkadaşlarının performansına olumlu ya da olumsuz yansiyabilir. Bu açıdan bakıldığında örgütsel süreçler, politikalar, kaynaklar ile örgüt kültürü ve iklimi birbiriyle ilişkili olan ve personelin hata yapmasına ya da yapmamasına neden olabilecek faktörler olarak görülebilir. İşle ilgili görevler belirli süreçler içinde, örgütsel kaynakları kullanarak ve örgütsel politikalara göre yapıldığından süreçler, kaynaklar ve politikalar ile ilgili yetersizlik ve aksaklıklar doğrudan ve açık bir şekilde insan hatasına neden olabilir. Bununla beraber örgütün daha derin ve buz dağının altı gibi görülemeyen yönünü ifade eden örgüt kültürü ve örgütsel alt yapıyı oluşturan kaynaklardaki bazı kısıtların insan hatalarına etkisi dolaylı ve gizli olabilir.

YÖNETİMSEL FAKTÖRLER

Yönetimsel faktörler; bireylerin icra ettikleri görevleri, içinde buldukları çevresel koşulları ve davranışlarını doğrudan etkileyen yönetici ve denetleyici

komuta zincirinin kararları, politikaları, uygulamaları ve yöntemlerini tanımlamaktadır. Yönetimsel faktörler; denetim ihlalleri, planlanan emniyetsiz faaliyetler ve yetersiz denetim olmak üzere üç alt temadan oluşmaktadır. Söz konusu alt temalar ve alt temaları oluşturan kodlar Şekil 5 ve Tablo 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Kazalara Neden Olan Yönetimsel Faktörler

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Tablo 5. Kazalara Neden Olan Yönetimsel Faktörler

S/N	Alt Temalar	Kodlar	N	Toplam	%
1	Denetim İhlalleri	Mevcut Kuralların Uygulanmaması	3	4	14
		Göreve İcrası İçin Niteliksiz/Yetersiz Personelin Yetkilendirilmesi	1		
		Görev İçin Tecrübesi Az ya da Kalifiye Olmayan Personelin Seçimi	3		
2	Planlanan Emniyetsiz Faaliyetler	Yetersiz Risk Değerlendirmesi	5	11	40
		Uygun Olmayan Ekip Oluşturma	1		
		Riskli Faaliyetlere İzin Verilmesi	2		
3	Yetersiz Denetim	Görevlerin İcrasında Yetersiz Gözetim ve Liderlik	2	13	46
		Göreve Yönelik Eğitimlerin Olmaması ya da Yetersizliği	3		
		Örgütsel Politika ve Kuralları Uygulamada Başarısızlık	3		
		Görev İçin Yeterliliği Olmayan Personel Seçimi	3		
		Yöneticilerin Emniyet Riski Oluşturan Bilgi ve Olaylara Reaksiyon Göstermede Başarısızlığı	1		
		Yönetici ya da Denetçilerin Emniyetsiz ve Riskli Uygulamaları Belirlemede Yetersiz Kalması	1		

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Denetim İhlalleri: Görevlerin yapılması sırasında denetim, gözetim ve nezaret yetkisine sahip personelin isteyerek kuralları, talimatları ve politikaları gözardı ettikleri durumları ifade etmektedir. Mevcut örgütsel kuralların uygulanamaması, görevin icrası için niteliksiz personelin yetkilendirilmesi bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“08-0037 K/N’lı CV-22B tipi döner kanatlı hava aracı, 11 Ekim 2011 tarihinde kalkış esnasında yanında birlikte kalkış aşamasında olan diğer uçağa çarpmaktan kaçınmak için manevra yapmış ve bu sırada kaza geçirmiştir. Hava aracının dişli kutusu hasarlanmış ve uçuş ekibinden biri hafif yaralanmıştır. İncelemeler sonucunda, pilotun mevcut standart kalkış kurallarına uymaması ve kendi başına hareket etmesinin kazanın oluşumuna katkı sağladığı görülmüştür. (Kandahar Hava Üssü, Afganistan, 2.047.493 \$ hasar)”

“09-0676 K/N’lı MC-12W tipi pervaneli uçak, 27 Nisan 2013 tarihinde askeri istihbarat, keşif ve gözetim görevi kapsamında uçuş görevi yaparken boş bir araziye düşerek kaza geçirmiştir. Uçağın dört kişilik uçuş ekibi kaza sırasında hayatını kaybetmiştir. Kaza araştırması sonucunda uçağın komutan ve ikinci pilotunun MC-12W uçağında uçmak için yeterli tecrübeye sahip olmaması ve her iki pilotun geçmişte birlikte uçmamasına rağmen her iki pilotun da bu özel görev için komuta yönetimi tarafından görevlendirilmesinin kazaya neden olan faktörlerden biri olduğu görülmüştür. (Kandahar Hava Üssü, Afganistan, 19.800.000 \$ hasar)”

Planlanan Emniyetsiz Faaliyetler: Yönetici ve denetleyici ekip tarafından yeterli risk değerlendirmesi yapılmadan planlanan faaliyetleri ifade etmektedir. Görev için kalifiye olmayan personel seçimi, yeterli risk değerlendirilmesinin yapılamaması, uygun olmayan ekipler oluşturma ve görev sırasında riskli faaliyetlere izin verme bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“08-0319 K/N’lı M-28 tipi pervaneli uçak, 18 Aralık 2011 tarihinde askeri üsler arası yolcu taşımacılığı yaptığı sırada iniş için piste yaklaştığında pilot uçağa etki eden yan rüzgar ve kuyruk rüzgarını doğru olarak hesaplayamamıştır. Pilotun yanlış risk değerlendirmesi yaparak uygun olmayan hareket tarzını seçmesi nedeniyle piste inen uçak bir süre sonra sağa saparak pistten çıkmış; uçak toprak alana girince burun iniş takımı çökmüş ve uçağın burnu yere çarparak kaza yapmıştır. (Rabat Hava Üssü, Afganistan, 12.300.000 \$ hasar)”

“65-0337 K/N’lı T-38C eğitim uçağının 11 Şubat 2011 tarihinde eğitim uçuşu sonrasında inişe geçtiği sırada pilotun pist ile ilgili yaşadığı coğrafi uyumsuzluk, pilotun bir dizi performans ve algı hatası yapmasına neden olmuş

ve uçak piste çarparak kaza geçirmiştir. Uçağın iniş takımı, motorları, sağ kanadı ve kuyruk kısmında ciddi hasar meydana gelmiş ve pilot hafif yaralanmıştır. Bu kazada pilotun yaşadığı coğrafi uyumsuzluk önemli bir faktör olmakla birlikte, pilotun görevle ilgili yeterli risk değerlendirmesi yapamaması kazaya neden olan diğer önemli bir insan faktörü olarak görülmüştür. (Ellington Field Hava Üssü, Teksas-ABD, 21.39.672 \$ hasar)”

Yetersiz Denetim: Görevin icrası sırasında denetim ve gözetim faaliyetlerinin tam olarak yapılamaması ve yaşanan aksaklıkları ifade etmektedir. Görevin yapılması sırasında denetim ve liderlik etmede yetersizlik, görevle ilgili eğitimlerin olmaması veya yetersiz kalması, örgütsel politika ve kuralların tam olarak uygulanamaması, yeterliliği olmayan personel seçimi, yönetici ve denetçilerin emniyet riski oluşturan olay ve durumları belirleme ve bunlara reaksiyon göstermede başarısız olmaları bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“87-0240 K/N’lı F-16C savaş uçağı 7 Haziran 2011 tarihinde kalkıştan 1 saat 23 dakika sonra eğitim uçuşu sırasında motorunda ani bir itiş gücü kaybı yaşamış ve pilot motoru tekrar çalıştıramamıştır. Pilot koltuğunu fırlatarak hafif yaralı olarak kurtulmuş, uçak ise boş bir evin üzerine düşmüştür. İnceleme heyeti, kazanın aksesuar dişli kutusu yağ hattındaki tıkanmaya bağlı olarak motor yatağının yetersiz yağlanması nedeniyle gerçekleştiğini tespit etmiştir. Uçağın bakım kayıtları ile ilgili yapılan kontrolde, uçağın fabrika seviyesi bakımı sırasında teknik yayında “motor bakımı sırasında açık boru ucu ve boşlukların tespit edilmesi zor yabancı maddelerin girmesine karşı kapatılması”nı belirtmesine rağmen bakım teknisyeninin buna uymadığı ve bakım işlemlerinde denetim yetersizliği olduğu görülmüştür. (New Chester, Wisconsin-ABD, 25.691.100 \$ hasar)”

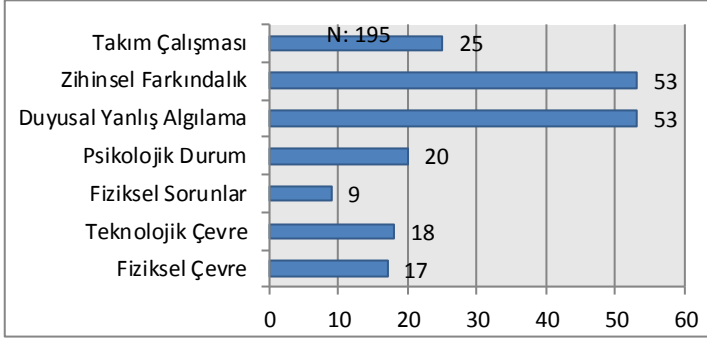
“94-06 K/N’lı C-130 kargo uçağı 8 Haziran 2020 tarihinde rutin uçuş görevi sonrasında inişe geçtikten sonra pistte duramamış ve pisti aşarak beton bariyere çarpmıştır. Uçak içindeki 26 kişiden ikisi hafif yaralanmış ve uçak ağır hasar görmüştür. Uçağın hızının iniş için fazla olması kazanın asıl sebebi olmakla birlikte, uçuş ekibinin olay sırasında riskli ve emniyetsiz durumları belirleme ve düzeltmede yetersiz kalması, iletişim eksikliği ve emercensi prosedürlerin tam olarak uygulanamaması kazanın oluşumuna katkı sağlamıştır. (Al Taji Hava Üssü, Irak, 35.900.000 \$ hasar)”

Tablo 5’teki hava aracı kazalarına neden olan yönetimsel faktörler incelendiğinde, yönetimsel faktörlerin %46’sını yetersiz denetim, %40’ını planlanan emniyetsiz faaliyetler ve %14’ünü denetim ihlallerinin oluşturduğu

görülmektedir. Verilere bakıldığında askeri havacılık faaliyetlerinin icrası sırasında yöneticilerin özellikle rutin işlere uygun nitelikte personel seçme, faaliyetlerle ilgili risk değerlendirmesinde sorunlar yaşadığı ve örgütsel politikalar doğrultusunda görevlerle ilgili süreçleri tam olarak yönetemediğini söylemek mümkündür. Tüm sektörler ve örgütlerde olduğu gibi havacılık sektöründe de faaliyetler yönetim süreci içinde gerçekleştirilir. Yönetim, bir örgütte belirlenen amaçlara ulaşmak amacıyla örgütsel faaliyetleri planlama, organize etme, yöneltme, koordinasyon ve denetleme çabalarının toplamını içeren bir süreçtir. Liderlik ise belirli amaçlara ulaşabilmek için grup üyelerinin davranışlarını etkileme ve ikna etme sürecidir (Şimşek, 2011: 243). Yöneticiler, faaliyetlerin örgütsel hedefler doğrultusunda etkin, verimli ve planlı bir şekilde yürütülmesinde baş aktörlerdir. Kontrol altındaki astlarına iş yaptırma, doğru işe doğru insan kaynağını yönlendirme, koordinasyon ve faaliyetlerin sonuçlarının belirlenen örgütsel ölçütlere göre denetlenmesi konusunda yetersiz kalan yöneticiler işyerinde karmaşa ve adaletsizliğe neden olabilir. Havacılık faaliyetlerinde karmaşa ve kaos ciddi sonuçları beraberinde getirebilecek olay ve kazalara yol açabilir. Yöneticiler alanında uzman ve güçlerini yasal yetkilerinden alan profesyoneller olarak astlarını etkileme konusunda başarılı olabilmek için iletişim becerisi, hitabet, etkileme, güven verme gibi liderlik özellikleri de sergilemelidirler. Bununla beraber havacılık faaliyetlerinde yönetici ve denetleyici pozisyonundaki çalışanlar, ciddi kazalara neden olabilecek emniyetsiz davranış ve uygulamaları önlemek amacıyla örgütsel süreçleri, politikaları, riskleri çok iyi bilmeli; işe uygun nitelikli çalışanları planlamalı ve organize etmeli; çalışanlar ve takımlar arası koordinasyonu sağlamalı ve faaliyetlerin başarı oranını sürekli olarak denetlemelidirler.

ÖN KOŞULLAR

Havacılık faaliyetlerinin icrası sırasında hava aracı ve personelin (uçuş ekibi, hava trafik kontrolörü, uçak bakım personeli ve uçuşu destekleyen diğer yer ekibi) içinde bulunduğu çevresel koşullar ile personelin fiziksel ve zihinsel durumunu ifade eden; kaza, olay, ihlal ve emniyetsiz davranışlara dolaylı olarak katkı sağlayan örtük koşullardır. Ön koşullar; çevresel koşullar ile fiziksel ve zihinsel durum olmak üzere öncelikle iki alt temaya bölünmüştür. Çevresel koşullar alt teması, fiziksel ve teknolojik çevre; fiziksel ve zihinsel durum alt teması ise fiziksel sorunlar, psikolojik durum, duyuşsal yanlış algılama, zihinsel farkındalık ve takım çalışması olmak üzere yeniden alt temalara bölünmüştür. Söz konusu alt temalar Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Kazalara Neden Olan Ön Koşullar

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

ÇEVRESEL KOŞULLAR

Çevresel koşullar; havacılık faaliyetleri sırasında bireyin davranış, uygulama ve eylemlerini etkileyen fiziksel ve teknolojik çevreyi ifade etmektedir. Çevresel koşullar alt teması kendi içinde fiziksel ve teknolojik çevre olmak üzere iki alt temadan oluşmaktadır. Söz konusu alt temalar ve alt temaları oluşturan kodlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Kazalara Neden Olan Çevresel Koşullar

S/N	Alt Tema	Kodlar	N	Toplam	%
1	Fiziksel Çevre	Görüşü Engelleyen Çevresel Koşullar	15	17	49
		Performansı Etkileyen Koşullar (Sıcak/Soğuk/ Stres)	1		
		Bireyin Hareketini Engelleyen Dış Kuvvet ya da Nesne	1		
2	Teknolojik Çevre	Pilot Mahalinde Koltuk ve Emniyet Kemer Sorunları	2	18	51
		Gösterge ve Uyarı Sistemi Sorunları	7		
		Teknoloji Kaynaklı Görüş Kısıtları	2		
		Otomasyonun Ortaya Çıkardığı Emniyetsiz Durumlar	4		
		Görev Gereklerine Uygun Olmayan Çalışma Ortamı	1		
		Personel Ekipmanının Ortaya Çıkardığı Emniyetsiz Durumlar	1		
		Kontrol Aletleri ve Siviçlerin Şekli, Yeri, Tasarımı ve Boyutu	1		

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Fiziksel Çevre: Hava durumu, iklim, sis, yağmur, kar, kum fırtınası, karanlık, aydınlık gibi bireyin görevi sırasında performansını etkileyen çevresel koşullardır. Görüşü engelleyen, performansı etkileyen (sıcak, soğuk, stres vb.) ve bireyin hareketini kısıtlayan fiziksel koşullar bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“07-0296 K/N’lı F-16C savaş uçağı 28 Temmuz 2011 tarihinde eğitim uçuşunu tamamladıktan sonra inişe geçip piste teker koyduğu sırada uçağın çevre kontrol sistemi, kokpitin aşırı sis ile dolmasına neden olmuş; aşırı sis pilotun görüşünü ciddi oranda engellemiş; bu nedenle pilot vertigo (baş dönmesi-denge kaybı) yaşamış; uçağı doğru bir şekilde kontrol etme yeteneğini kaybetmiş ve normal iniş prosedürlerini uygulayamamıştır. Pilot koltuğunu fırlatarak uçağı yara almadan terketmiş, uçak ise pistin dışında toprak zemine çıkmıştır. (Wittman Bölge Havaalanı, Oshkosh, Wisconsin-ABD, 5.400.000 \$ hasar)”

“07-3890 K/N’lı T-6A eğitim uçağının iki kişilik uçuş ekibi, 1 Mayıs 2019 tarihinde eğitim uçuşu sırasında farkettileri hava oluşumunu eğitim manevraları için kullanmak istediler. Uçağın kontrolünü ele alan öğrenci pilot, öğretmen pilot kontrolü almadan önce birçok eğitim manevrası yaptı. Bu manevralardan biri olan uçağın aşırı tırmanış manevrasını öğretmen pilot uçağın burnunu indirerek düzeltmeye çalıştığı sırada uçak bir hava oluşumunun içine girdi ve pilotlar dış görsel referanslarını kaybettiğinden kaza meydana gelmiştir. Öğretmen ve öğrenci pilot koltuklarını fırlatmış ve hafif yaralı olarak kurtulmuşlardır. (Sheppard Hava Üssü 35 Km Yakını, Teksas, ABD, 5.700.000 \$ hasar)”

Teknolojik Çevre: Bir bireyin eylem ve davranışlarını etkileyen otomasyon, çalışma alanı tasarımı ve teknolojik alt yapı gibi çevresel koşulları ifade eder. Pilot mahalinde koltuk ve emniyet kemeri sorunları; gösterge ve uyarı sistemi sorunları; teknoloji kaynaklı görüş kısıtları; otomasyonun ortaya çıkardığı emniyetsiz durumlar; görev gereklerine uygun olmayan çalışma ortamı; personel ekipmanının ortaya çıkardığı emniyetsiz durumlar; kontrol aletleri ve siviçlerin şekli, yeri, tasarımı ve boyutu bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“15-4295 K/N’lı MQ-9A tipi İHA, 25 Haziran 2020 tarihinde, kalkıştan kısa bir süre sonra yaklaşık 150 feet irtifada motor gücünü tamamen kaybederek yere düşmüştür. İnceleme sonucunda kazanın nedeninin kalkış sırasında pilotun flap kolunu tanıyamaması; flapları indirmek için flap kolunu ileri itmek yerine pilotun durum kolunu (condition lever) geriye çekmesi sonucu motora giden yakıtın kesilmesi ve motorun durması olduğu tespit edilmiştir. Pilot yer kontrol istasyonunda gaz kolu kadranının tasarımı, flap kolu ile durum kolunun

birbirine yakın olması, iki kol arasında ayırıcı renk ve işaretlerin olmaması ile durum kolunun emniyet korumasının bulunmaması bu kazanın oluşumuna katkı sağlayan teknolojik çevre ile ilgili faktörlerdir. (Hancock Field Ulusal Hava Muhafız Üssü, New York, 6.085.179 \$ hasar)”

“88-0510 K/N’lı F-16C uçağı, 28 Ocak 2013 tarihinde gece eğitimi sırasında pilotun yapmış olduğu riskli bir manevradan çıkışı sırasında Adriyatik Denizi’ne çarparak kaza geçirmiştir. Bu kazaya hava koşulları, görev sırasında gece görüş gözlüğü kullanılması, uçağın pozisyonu ve yüksek hızı ile görsel ikaz ve verilerin takip edilememesinden kaynaklı pilotun yaşadığı uzaysal uyumsuzluk neden olmuştur. Pilot uzaysal uyumsuzluk nedeniyle koltuğunu fırlatma konusunda yanlış değerlendirmede bulunmuş, yüksek hızla koltuğun fırlaması sırasında pilotun kaskı başından çıkarak ani bir şekilde fırlamıştır. Fırlatma koltuğu kemerinin gevşek olması fırlama sırasında koltuğun yalpalamasına ve bu sırada pilotun baş ve omuz travması yaşamasına, yaralanmasına ve sonrasında ise ölümüne neden olmuştur. Otomasyondan kaynaklı faktörlerin de pilotun koltuğunu fırlatmasına neden olması; pilotun gece görüş gözlüğü kullanması ve pilotun şahsi ekipmanlarının ortaya çıkardığı emniyetsiz durumlar bu kazanın oluşumuna katkı sağlayan teknolojik çevre ile ilgili faktörlerdir (Cervia, İtalya, 28.396.157 \$ hasar)”

Tablo 6’daki hava aracı kazalarına neden olan ön koşullardan olan çevresel faktörler incelendiğinde, hem fiziksel (%49) hem de teknolojik (%51) çevrenin neredeyse eşit oranda kazalarının oluşumuna katkı sağladığı görülmüştür. Özellikle sis, kar, buz, sağanak, yağmur, bulut oluşumu gibi uçuş ekibinin görüşünü ve performansını kısıtlayan hava koşulları kazaların oluşumunda önemli fiziksel çevresel faktörlerdir. Teknolojik gelişmeler, hem sivil hem askeri havacılıkta uçuş ekibinin iş yükünü azalttığı gibi bazı durumlarda ise insan performansının sınırlarını zorlayan ve hata yapılmasına neden olan koşulları doğurmaktadır. Modern ve çok amaçlı askeri uçakların uçuş gösterge ve uyarı sistemleri ile ilgili sorunların kazalara etkisi daha ön plandadır. Bununla beraber, otomasyon, kokpit tasarımının pilot görüşüne etkisi, gösterge ve siviçlerin tasarımı ve boyutları ve uçuş ekibinin şahsi ekipmanları kazalara katkı sağlayan teknolojik çevre dâhilindedir.

FİZİKSEL VE ZİHİNSEL DURUM

Bireylerin görevlerini yaparken bedenlen hangi koşullarda olduğu ile nasıl düşündüğü, algıladığı, hissettiği, tahmin ettiği, fark ettiği, karar verdiği ve hayal ettiğini ifade eden mental durumları açıklamaktadır. Fiziksel ve zihinsel durum alt teması kendi içinde fiziksel sorunlar, psikolojik durum, duyuşsal yanlış algılama, zihinsel farkındalık ve takım çalışması olmak üzere beş alt temadan oluşmaktadır. Söz konusu alt temalar ve bu alt temaları oluşturan kodlar Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Kazalara Neden Olan Fiziksel ve Zihinsel Durumlar

S/N	Alt Temalar	Kodlar	N	Toplam	%
1	Fiziksel Sorunlar	Bilinç Kaybı	2	9	6
		Fiziksel Hastalık veya Yaralanma	1		
		Yorgunluk	5		
		Beden Yapısı/Hareket Kısıtları	1		
2	Psikolojik Durum	Duygusal Durum	1	20	12
		Aşırı Güven	5		
		Bireyin Kendini ve Ekipmanların Sınırlarını Zorlaması	2		
		Gönül Rahatlığı	10		
		Motivasyon Durumu	2		
3	Duyusal Yanlış Algılama	Değişen Çevresel Koşulların Yanlış Algılanması	15	53	33
		Gösterge ve Aletleri Yanlış Okuma ve Yorumlama	16		
		Uzaysal Yön Kaybı/Uyumsuzluk	14		
		Zaman Algısının Bozulması	3		
		Görme Yanılgısı	3		
		Duyusal Dengenin Bozulması	2		
4	Zihinsel Farkındalık	Dikkat Eksikliği	4	53	33
		Diğer Çevresel Koşulları Gözardı Ederek Tüm Bilinçli Dikkati Bir Yere Odaklama	24		
		Aşırı Bilgiye Maruz Kalma ve Bilgiyi İşleyememe	5		
		Zihinsel Karışıklık-Şaşkınlık	2		
		Önceki Olumsuz Alışkanlıkların Yeni Göreve Aktarımı	5		
		Dikkat Dağılması	5		
		İçinde Bulunulan Coğrafyayı Algılayamama	1		
		Görev Sırasında Dış Etkenlerin Araya Girerek Bireyin Dikkatini Dağıtması	4		
		Yanlış/Hatalı Beklenti	3		
		5	Takım Çalışması		
Kritik Bilgilerin İletilmesinde Yetersizlik	6				
Etkili İletişim Kuramamak	7				
İletişimde Çekingen Olma	1				
Görev Planlaması ve Briefinglerde Yetersizlikler	5				

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Fiziksel Sorunlar: Bireyin görevini yaparken emniyetsiz davranış ve durumlara neden olan tıbbi ya da fiziksel sorunlardır. Bilinç kaybı, fiziksel hastalık ya da yaralanma, yorgunluk, beden yapısı ve hareket kısıtları bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“12-005053 K/N'lı F-35A savaş uçağı, 19 Mayıs 2020 tarihinde gece uçuşundan sonra piste yaklaştıktan sonra limitin üzerinde bir hızla inişe geçmiş, bu sırada pilot uçak kontrol yüzeylerini kumanda etmekte yetersiz kalmış ve uçak üzerinde oluşan salınımlar nedeniyle kaza meydana gelmiştir. Uçak yanarak tamamen tahrip olmuş, pilot ise koltuğunu fırlatarak kazadan yara almadan kurtulmuştur. Bu kazaya neden olan farklı nedenler olmakla birlikte pilotun bu uçuş görevi sırasında bilişsel işlevlerini olumsuz etkileyecek kadar yorgun olması kazanın önemli sebeplerinden biridir. Kaza incelemesi sırasında pilot, düzensiz uyku nedeniyle yorgun olduğunu kabul etmiş ve F-35 uçağı ile uçarken daha önce uçtuğı F-15 uçağına göre daha fazla yorulduğunu ifade etmiştir. F-35 uçağındaki oksijen dağıtım sistemi, geleneksel savaş uçaklarına göre kapalı devre bir sistem olup, pilotun nefes alışına göre sisteme geri bildirim yapmakta, bu nedenle pilot her nefes alış verişinde kendisine sistem tarafından bir basınç uygulanmakta, bu basınç nedeniyle de pilota yapılan oksijen takviyesi anlık değil gecikmeli olarak gerçekleşmektedir. Bu sebeple F-35 uçağında uçan birçok pilot diğer uçaklara göre kendisini daha yorgun hissetmektedir. (Eglin Hava Üssü, Florida-ABD, 175.983.949 \$ hasar)”

“88-26109 K/N'lı HH-60G tipi helikopter, gece şartlarında pilot kurtarma eğitim uçuşu sırasında kuş sürüsüne çarptıktan sonra bataklık bir alana düşerek kaza geçirmiştir. Dört kişilik uçuş ekibi ciddi şekilde yaralanmıştır. Çarpışma sırasında kokpit çamından içeri giren birden fazla kaz pilot ve yardımcı pilota çarparak pilotların bilincini kaybetmesine neden olmuştur. Bilincini kaybeden pilotlar helikopteri kumanda etmekte yetersiz kaldığından kaza meydana gelmiştir. (Norfolk, Birleşik Krallık, 40.302.061 \$ hasar)”

Psikolojik Durum: Görevin yapılması sırasında emniyetsiz durumların ortaya çıkmasına neden olan bireyin kişilik özellikleri, psikososyal sorunları, psikolojik bozuklukları ve motivasyon eksikliği gibi faktörlerdir. Duygusal durum, aşırı güven, bireyin kendini ve ekipmanların sınırlarını zorlaması, gönül rahatlığı ve motivasyon durumu bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“11-9358 K/N'lı E-11A tipi jet uçağı 27 Ocak 2020 tarihinde havada düz uçuş sırasında motor fan palesinin kopması nedeniyle sol motor durdu. Uçuş ekibi bu sırada yanlış değerlendirmede bulunarak sağ motorun arıza yaptığını

zannetti ve sağ motoru kapattı. Bu durum iki motorun havada susmasına ve emercensi bir durum oluşmasına neden oldu. Havada motorları yeniden çalıştırma konusunda başarısız olan uçuş ekibi ayrılmış oldukları 414 km mesafedeki Kandahar Hava Üssüne süzülerek tekrar dönmeye karar verdi. Ancak kalan mesafeyi süzülerek kat etmek için yeterli irtifa ve hıza sahip olmayan uçak Sharana Hava Üssüne yaklaşık 40 km kala araziye iniş yaparak kaza yapmış, iki pilot ölümcül bir şekilde yaralanmış ve uçak tahrip olmuştur. Uçuş ekibinin E-11A uçağının süzülme mesafesinin dışında olan bir yere varmak ve bu esnada motorlardan birini ya da ikisini de çalıştırma konusunda kendilerine aşırı güven duymaları kazaya katkı sağlayan önemli bir faktör olarak görülmüştür. (Gazne, Afganistan, Hasar bilgisine ulaşılamamıştır)”

07-3197 K/N'lı MQ-1B tipi İHA, 24 Eylül 2015 tarihinde görev uçuşu esnansında pilotun dikkatsizliği sonucu bulut oluşuma girmesi sonucu uydu veri bağlantısını kaybederek bilinmeyen bir bölgeye düşerek kaza geçirmiştir. Zaten donma noktasının altında soğumuş olan İHA'nın bulut içine girmesiyle yüzeylerinde buz birikmesi olmuştur. Buzlanma ve türbülans nedeniyle uçuş performansı giderek kötüleşen hava aracının yer kontrol ünitesi ile veri bağlantısı kesilmiştir. Kaza incelemesi sonucunda öngörülemeyen ve hızla kötüleşen yerel hava, görsel taramanın bozulması ve İHA pilotların görevle ilgili riskleri görmezden gelen bir gönül rahatlığı/rehavet içinde olmalarının kazaya neden olan önemli faktörler arasında olduğu görülmüştür. (Creech Hava Üssü, Nevada-ABD, 5.156.042 \$ hasar).

Duyusal Yanlış Algılama: Bozuk, eksik ya da düzensiz duyusal veriler (görsel, işitsel vb.) nedeniyle bir tehdit, durum ya da nesnenin birey tarafından yanlış olarak algılanması, hissedilmesi ve tanımlamasıdır. Değişen çevresel koşulların yanlış algılanması, gösterge ve aletleri yanlış okuma ve yorumlama, uzaysal yön kaybı/uyumsuzluk, zaman algısının bozulması, görme yanığı, duyusal dengenin bozulması bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“92-9466 K/N'lı HH-60G tipi askeri helikopter, görev uçuşu sırasında amaçlanan iniş noktasını yanlış hesap ederek düşük irtifaya indi. Yardımcı pilot bu esnada yakınlarda bulunan bir kuleden kaçınmak isterken helikopterin rotor palesi kulenin dört adet çelik kablosuna çarptı. Kablolar ana rotora dolanarak helikopteri uçamaz hale getirdi ve helikopter ciddi hasar alarak çölde ıssız bir alana düştü. Helikopterin dört kişilik uçuş ekibi ve helikopterde bulunan üç koruma personeli ciddi şekilde yaralandı. İnceleme sonucunda pilotun helikopterin navigasyon ekranlarını yanlış yorumlamasının kazanın önemli nedenlerinden biri olduğu görülmüştür. (ABD Mekez Kuvvetler Sorumluluk Bölgesi, Hasar bilgisine ulaşılamamıştır)”

“81-0963 K/N’lı A-10C uçağı 1 Nisan 2011 tarihinde görev uçuşu sırasında pilotun havada uzaysal yön kaybı/uyumsuzluk yaşaması nedeniyle uçak, uçuş için uygun olmayan bir irtifaya inmiş ve bu durumu farkedenden pilot, sandalyesini fırlatarak ve ciddi yaralar alarak meydana gelen kazadan kurtulmuştur. Kaza incelemesi sonucunda, pilotun görüşünü kısıtlayan hava koşulları, prosedür hataları ve deneyim eksikliğinin bu kazaya neden olan temel faktörler arasında olduğu görülmüştür (Spangdahlem Hava Üssü, Almanya, 16.172.753 \$ hasar)”

Zihinsel Farkındalık: Bireyin algısını ve görev performansını etkileyen dikkat ve farkındalık durumunda başarısızlığa neden olan faktörlerdir. Dikkat eksikliği, diğer çevresel koşulları gözardı ederek tüm bilinçli dikkati bir yere odaklama, aşırı bilgiye maruz kalma ve bilgiyi işleyememe, zihinsel karışıklık, olumsuz alışkanlıkların yeni göreve aktarımı, dikkat dağılması, içinde bulunulan coğrafyayı algılayamama, görev sırasında dış etkenlerin araya girerek bireyin dikkatini dağıtması, yanlış/hatalı beklenti bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“07-0736 K/N’lı U-28A tipi küçük pervaneli uçak, 18 Şubat 2012 tarihinde askeri hareket destek görevini tamamladıktan sonra inişe geçtiği sırada uçuş ekibi uçağın konumunu tanımakta yetersiz kalmış, uygun düzeltici önlemler alamamış, uçak yere çarparak kaza geçirmiş ve dört kişilik uçuş ekibi ölmüştür. İnceleme sonucunda uçakta mekanik bir arıza olmamasına rağmen uçuş ekibinin uçağın konumunu tanımakta yetersiz kalmasının makul sebebinin temel olarak uzaysal uyumsuzluktan kaynaklandığı görülmüştür. Bununla beraber, kaza sırasında uçuş ekibinin çapraz kontrol yapamadığı, uçağın yere yakınlık uyarı sisteminden gelen “dalış oranı (sink rate)” ve “yukarı çek (pull up)” ikazlarına dikkat etmediği ve ekibin bu sırada dikkatini başka bir yere kanallendirdiği görülmüştür. (Lemonnier Kampı Yakını, Cibuti, Hasar bilgisine ulaşılamamıştır)”

“12-5052 K/N’lı F-35A savaş uçağı, 23 Eylül 2016 tarihinde motor çalıştırması esnasında uçağın kuyruk bölgesindeki rüzgar nedeniyle motor yeterli devire ulaşamamış ve devam eden yakıt akışı nedeniyle kontrolsüz bir motor yangını ortaya çıkmıştır. Motorun eksoz bölgesinde meydana gelen yangın uçağın gövdesine doğru ilerlemiş, ciddi maddi hasar oluşmuş ve yangın çıktıktan 20 saniye sonra uçak bakım ekibi tarafından söndürülmüştür. Pilot, uçaktan sağ olarak yara almadan çıkmıştır. Kaza incelemesi sonucunda, örgütsel eğitim eksikliği, otomasyon, aşırı güven, gönül rahatlığı, çeklist hatası, dikkat eksikliği ve dikkat dağılmasının bu kazanın olmasına katkı sağlayan

önemli faktörler olduğu görülmüştür. (Luke Hava Üssü, Arizona-ABD, 17.000.000 \$ hasar)”

Takım Çalışması: Bir görev ile ilgili hazırlık ve görevin yapılması sırasında insan hatası ya da emniyetsiz bir duruma yol açan bireyler, takımlar ve takımlar arasındaki etkileşimleri ifade eder. Başarısız takım liderliği, kritik bilgilerin iletilmesinde yetersizlik, etkili iletişim kuramamak, iletişimde çekingen olma, görev planlaması ve brifinglerde yetersizlikler bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili bir kaza raporundan yapılan doğrudan alıntı aşağıda sunulmuştur.

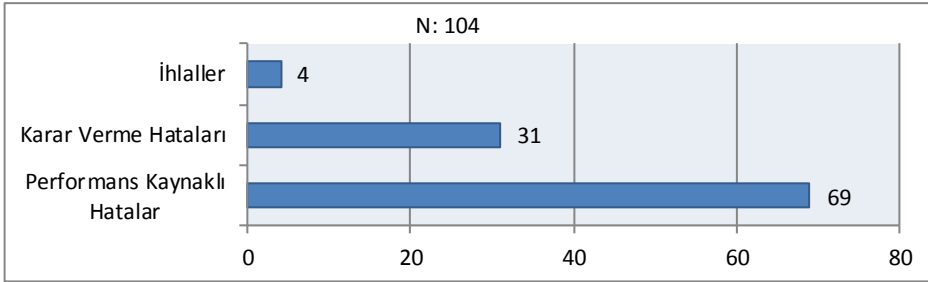
“92-3899 ve 93-0531 K/N’lı iki adet F-16C uçağı eğitim uçuşu sırasında kafa kafaya çarparak kaza geçirmiş ve iki pilotta da koltuğunu fırlatarak hafif yaralı olarak kazadan kurtulmuştur. İnceleme sonucunda; kazanın kök sebebinin uçaklardan birinin, uçuş rotalarının kesişmemesi ve uçakların birbirinden ayrılması ile ilgili prosedürleri yerine getirememesinden kaynaklandığı görülmüştür. Bununla beraber pilotlardan birinin diğer pilottan gelen yakıt çağırısına (Bingo) rağmen taktik manevrayı sonlandırmaması ve her iki uçağın pilotunun da uçuş parametrelerini değerlendirmek için harici uçak aydınlatmasından gelen görsel ipuçlarına aşırı güvenmesi kazanın oluşumuna katkı sağlamıştır. Yanlış beklenti içinde olmak, görevleri önceliklendirmede başarısızlık, etkili iletişim kuramamak, dikkati bir yere odaklamak ve diğer uyarıcı faktörleri gözardı etmek ile gönül rahatlığının bu kazaya neden olan önemli faktörler olduğu görülmüştür. (McEntire Birleşik Ulusal Koruma Üssü, Güney Carolina-ABD, 60.798.131 \$ hasar)”

Tablo 7’deki hava aracı kazalarına neden olan ön koşullardan olan fiziksel ve zihinsel durumlar incelendiğinde, duyuşsal yanlış algılama (%33) ve zihinsel farkındalığın (%33) bu alt tema altında kazalara neden olan iki temel faktör olduğu görülmüştür. Bu faktörleri sırasıyla takım çalışması (%16), psikolojik durum (%12) ve fiziksel sorunlar (%6) takip etmektedir. Gösterge ve aletleri yanlış okuma ve yorumlama, değışen çevresel koşulların yanlış algılanması ve uzaysal uyumsuzluk kazalara neden olan sık karşılaşılan duyuşsal yanlış algılama ile ilgili insan faktörlerdir. Özellikle diğer çevresel koşulları gözardı ederek tüm bilinçli dikkati bir yere odaklamanın (N:24) çoğunlukla tekraralanan bir hata olduğu; dikkat dağılması ve eksikliği, aşırı bilgiye maruz kalma, önceki çalışma ortamlarında kazanılan olumsuz deneyimlerin yeni görevlere aktarılması gibi zihinsel farkındalıkla ilgili faktörlerin kazaların oluşumunda etkili olduğu görülmüştür. Askeri uçakların son derece teknolojik araçlar olduğu, uçaklarda otomasyonun yüksek derecede kullanıldığı, pilotun aynı anda birçok veri akışına maruz kaldığı ve zihinsel becerilerinin

sınırlı olduğu düşünülürken uçuş ekibinin dikkatinin dağılması ve her çevresel uyarana karşı aynı oranda tepki verememesi makul karşılanabilir. Uçuş ekibinin görevlerini yaparken gönül rahatlığı ve aşırı özgüven içinde oldukları bu durumun da kazalara neden olan iki önemli psikolojik faktör olduğu görülmüştür. Ayrıca iletişim eksiklikleri, liderlik etmede sorunlar ve görev planlamasında yaşanan aksaklıkların takım çalışmasına zarar vererek kazalara katkı sağladığı görülmüştür. Helmreich (2000)'e göre pilotlar mesleki kültür açısından doktorlara benzeyen profesyonel çalışanlardır. Pilotlar, doktorlar gibi kendilerinin acil durumlarda da iyi karar verdiklerini ve tüm sorunlarını çalışırken geride bıraktıklarını düşünürler. Pilotların “herşeyi ben bilirim ya da maço tavırları” kendilerine fazla güvenmelerine, ekip arkadaşlarını gözardı etmelerine, risk almalarına, takım çalışmasında uyumsuzluklara ve iletişim sorunlarına neden olabilir. Fiziksel sorunlar incelendiğinde özellikle yorgunluğun kazalara neden olan önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Askeri uçuşların farklı ve zorlu hava koşullarında yapılması, sıra dışı uçuş manevralarının pilotları fiziksel yüklerle maruz bırakması, uçuş göstergelerinden gelen verileri pilotların sürekli işlemek ve değerlendirmek zorunda olmaları, gece uçuşları gibi faktörler onları yorabilir.

EMNİYETSİZ DAVRANIŞLAR

Bireyin görevini yaptığı sırada emniyetsiz bir durum, olay ya da kazaya sebep olan veya katkı sağlayan açık, aktif, görülebilen ve hemen sonuçları olan bireysel eylemlerdir. Geleneksel olarak bu eylemler “hata” olarak görülür. Emniyetsiz davranışlar teması; performans kaynaklı hatalar, karar verme hataları ve ihlaller olmak üzere üç alt temadan oluşmaktadır. Söz konusu alt temalar Şekil 7’de ve bu alt temaları oluşturan kodlar Tablo 8’de sunulmuştur.



Şekil 7. Kazalara Neden Olan Emniyetsiz Davranışlar

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Tablo 8. Kazalara Neden Olan Emniyetsiz Davranışlar

S/N	Alt Temalar	Kodlar	N	Toplam 104	%
1	Performans Kaynaklı Hatalar	İstem Dışı Ekipmanların Çalıştırılması/Kapatılması	7	69	66
		Görev Sırasında Çeklisti Takip Etmemek	10		
		Prosedürlerin Doğru Takip Edilmemesi	25		
		Hava Aracının Kontrolünün Sağlanamaması	9		
		Görsel Tarama Sorunları	7		
		Gerekli Olan Davranışı Aceleci ya da Geç Yapmak	11		
2	Karar Verme Hataları	Yetersiz Gerçek Zamanlı Risk Değerlendirmesi	11	31	30
		Görevleri Önceliklendirmede Yetersizlik	10		
		İkazları İhmal Etmek	3		
		Görev Sırasında Yanlış Eylem Seçimi	7		
3	İhlaller	Ciddi İhlaller /Disiplin Eksikliği	3	4	4
		Rutin İhlaller	1		

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Performans Kaynaklı Hatalar: Görevin yapılması sırasında emniyetsiz durum, olay ve kazaya neden olan ve bireyin kendi performansının sonucu ortaya çıkan hatalardır. İstem dışı ekipmanların çalıştırılması/kapatılması, görev sırasında çeklisti takip etmemek, prosedürlerin doğru takip edilememesi, hava aracının kontrolünün sağlanamaması, görsel tarama sorunları ve gerekli olan davranışı aceleci ya da geç yapmak bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“05-6209 K/N’lı T-6A tipi eğitim uçağı kalktıktan ve iniş kalkış eğitimi uçuşunu tamamladıktan sonra birliğine dönerken düşerek kaza geçirmiştir. Kaza incelemesi sonucunda, 4500 saatlik motor revizyonu sırasında yanlış takılan bir yakıt transfer borusu kilitleme plakası nedeniyle motor yakıt hattının beslenemediği ve bu nedenle havada motorun arıza yaparak uçağın düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir. İki kişilik uçuş ekibi kazadan hafif yaralı olarak

kurtulmuştur. Motor bakımı sırasında uçak bakım teknisyenleri tarafından çeklist ve prosedürlerin takip edilmemesinin kazaya neden olan iki önemli insan faktörü olduğu görülmüştür. (San Antonio Hava Üssü, Teksas-ABD, 5.700.000 \$ hasar)”

“06-4105 K/N’lı MQ-9A tipi İHA, 13 Aralık 2011 tarihinde uçuş görevi sırasında kumanda edilmediği halde motoru susmuş ve pilotun zorunlu inişe geçtiği esnada hava aracı düşerek kaza geçirmiştir. Kaza sonucunda herhangi bir can kaybı ve yaralanma meydana gelmemiştir. Kaza incelemesi sonucunda, motor kontrol kablosu grubunda oluşan bir elektrik kısa devresinin kazaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber İHA pilotunun zorunlu iniş sürecinde prosedürleri tam olarak uygulamamasının kazanın oluşumuna katkı sağlayan bir insan faktörü olduğu görülmüştür. (Victoria Uluslararası Havalimanı, Şeyşeller Cumhuriyeti, 9.643.000 \$ hasar)”

Karar Verme Hataları: Bireyin görevini yaparken amacına ve bir plana göre hareket ettiği ancak görev sırasında ortaya çıkan rutin ya da rutin dışı durumlarda planların yetersiz kaldığı ve bu nedenle bireyin karar verme sorunu yaşadığı durumları ifade etmektedir. Yetersiz gerçek zamanlı risk değerlendirmesi, görevleri önceliklendirmede yetersizlik, ikazları ihmal etmek ve görev sırasında yanlış eylem seçimi bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili kaza raporlarından yapılan doğrudan alıntılar aşağıda sunulmuştur.

“10-4113 K/N’lı MQ-9A tipi İHA, 7 Haziran 2016 tarihinde bir yeterlilik/tecrübe uçuşu sırasında motor durması nedeniyle düşerek kaza geçirmiştir. Kaza incelemesi sonucunda uçuş ekibinin uçuş esnasındaki görevlerini önceliklendirmede yanlış uygulamalar yaptığı, azalan yakıt ve motor durması ile ilgili uyarıları gözlemede başarısız olduğu ve duran motoru tekrar çalıştırmak için gerekli prosedürleri zamanında uygulayamadığı görülmüştür. Söz konusu hataların temel sebebi olarak ise uçuş ekibinin durumsal farkındalık kaybı yaşaması olarak tespit edilmiştir (Creech Hava Üssü, Nevada-ABD, 11.063.339 \$ hasar)”

00-0219 K/N’lı F-16C savaş uçağı, 3 Nisan 2013 tarihinde kara birliklerine destek vermek amacıyla yapılan bir gece harekâtı uçuşu sırasında ıssız bir bölgede dağ yamacına çarpması sonucu kaza geçirmiş ve pilot hayatını kaybetmiştir. Kaza incelemesi sonucunda, aletli meteorolojik koşullarda görerek uçuş kurallarını kullanarak minimum emniyetli irtifanın altında uçarken pilotun uçuş rotası üzerindeki dağlık araziye doğrudan algılayamamasının kazanın temel nedeni olduğu görülmüştür. Bu kazada pilotun uçuş görevleri ile ilgili riskleri değerlendirmesinde yetersiz kalması, alçak irtifa ile ilgili ikazları ihmal

etmesi ve hava koşullarının görüşü kısıtlaması önemli insan faktörleri olarak tespit edilmiştir. (Bagram Hava Üssü, Afganistan, 30.945.228, \$ hasar)”

İhlaller: Bireyin kasıtlı olarak kural ve talimatları çiğnediği durumlardır. İhlaller kasten ve planlı yapılan bireysel eylemler olarak ciddi olay ve kazalara neden olabilir. Ciddi ihlaller/disiplin eksikliği ve rutin ihlaller bu alt tema altında incelenmiş ve bu alt tema ile ilgili bir kaza raporundan yapılan doğrudan alıntı aşağıda sunulmuştur.

“79-0164 K/N'lı A-10C savaş uçağı, 22 Mayıs 2013 tarihinde alçak irtifa eğitim uçuşu sırasında iki kabloya çarparak kaza geçirmiştir. Kaza sonucunda uçuş ekibi ya da sivil hiç kimse yaralanmamıştır. Uçak; sağ yatay stablizatör, kuyruk, rudder, sol kanat ucu ve mühimmatlarından ciddi hasar almıştır. Kaza incelemesi sonucunda, pilotun kaza sırasında karar verme hatası yaptığı, uçuş kuralları ve minumum irtifa prosedürlerini ihlal ettiği ve uçuş disiplininin uzaklaştığından dolayı kazanın meydana geldiği görülmüştür. Bununla beraber pilotun dikkatini başka bir yere odaklayarak kabloları görmemesi ve gönül rahatlığı içinde olup alçak irtifa ile ilgili ikazlara karşılık vermede yetersiz kalması kazaya katkı sağlayan insan faktörü ile ilgili diğer sebeplerdir. (Whiteman Hava Üssü, Missouri-ABD, 17.5983.949 \$ hasar)”

Tablo 8'deki hava aracı kazalarına neden olan emniyetsiz davranışlar incelendiğinde hatalı davranışların (%96) ihmalkâr davranışlarla (%4) kıyaslandığında çok daha fazla olduğu görülmüştür. Hatalı davranışlar içinde ise bireylerin yeteneklerine bağlı olarak sergiledikleri performans kaynaklı hataların oranı %66 iken, karar verme hatalarının oranı ise %30'dur. Prosedürlerin doğru takip edilmemesi, çeklisti takip etmemek ve gerekli olan davranışı geç ya da aceleci yapmak bireyin performansdan kaynaklı ve sık tekrarlanan hatalar olduğu görülmüştür. Görev sırasında gerçek zamanlı risk değerlendirmesi ve görevleri önceliklendirmede yetersizlikler karar verme ile ilgili daha fazla karşılaşılan hatalardır. İhmalkâr davranışların hatalı davranışlarla kıyaslandığında çok az olmasına rağmen, bu ihmallerin bireylerin şahsi disiplinsizliğinden kaynaklanan ciddi ihlaller olduğu görülmüştür. Hatalı davranışlar; kurallar dâhilinde, istem dışı yapılan ve emniyetsiz sonuçlar oluşturan davranışlar iken, ihmaller bilinçli ve kural dışı olarak yapılan ve emniyetsiz sonuçlara neden olan davranışlardır. Bu nedenle ihmalkâr davranışların havacılık emniyetine zararı daha fazla olabileceği düşünülmeyle birlikte, farklı koşulların etkisiyle insan performansının sınırlılıkları kapsamında sergilenen hatalı davranışların nicelik olarak fazla olması da havacılık emniyetini son derece riskli durumlara sokarak ciddi olay ve kazalara yol açabilir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya genelinde günlük olarak yapılan ticari ve diğer faaliyetler esnasında emniyet kurallarına uyulmadığında birçok ciddi olay ve kaza ile karşılaşmaktadır. Söz konusu kazalar nedeniyle birçok insan yaşamını yitirmekte, yaralanmakta ya da işletmeler ciddi maliyetlere katlanmak zorunda kalmaktadırlar. Kazaların kök nedenleri incelendiğinde; kazaların teknolojik, çevresel, örgütsel ve insan faktörlerinin birbiriyle etkileşiminden kaynaklandığı söylenebilir. İnsan faktörü kavramı, insanların çalışma ortamı ile ilgili bir kavram olup, insanların çalışma ortamında ekipmanlar, fiziksel çevre, örgütsel kurallar ve aynı ortamdaki diğer insanlarla nasıl bir etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaya çalışır. Çoğu sektörde olduğu gibi, emniyet ve güvenlik kavramının son derece önemli olduğu havacılık sektöründe de insan faktörü kavramı çalışanların performansı ile doğrudan ilgilidir. İnsan performansını potansiyel olarak etkileyen faktörlerin çeşitliliği dikkate alındığında, insan hatasının modern havacılığın başlangıcından günümüze kadar havacılık sektöründe yaşanan neredeyse tüm olay ve kazalarda ana faktör olarak kabul edilmektedir. Sivil havacılık sektöründe olduğu gibi havacılığın diğer önemli kanadı olan askeri havacılıkta da insan faktörü kavramı havacılık emniyeti içinde önemli bir yere sahip olan bir olgudur. Bu kapsamda literatür taraması ışığında yapılan bu araştırmada askeri hava aracı kazalarında insan faktörü kavramı, fenomenolojik bir bakış açısıyla ve döküman analizi yöntemi kullanılarak derinlemesine incelenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada 2011-2020 yılları arasında ABD askeri hava araçlarının ABD sınırları ve dünyanın farklı bölgelerinde dâhil olduğu 78 kazaya neden olan ya da katkı sağlayan 363 insan faktörü tespit edilmiştir. Bu faktörler; örgütsel faktörler, yönetsel faktörler, ön koşullar ve emniyetsiz davranışlar olmak üzere dört ana tema altında sınıflandırılmıştır. Söz konusu temalar içinde ön koşulların kazaların oluşumunun yarıdan fazlasında (%54) etkili olan bir faktör olduğu görülmüştür. Ön koşulları takiben sırasıyla emniyetsiz davranışlar (%28), örgütsel faktörler (%10) ve yönetsel faktörlerin (%8) hava aracı kazalarında etkili olduğu görülmüştür. Hava aracı kazalarına neden olan alt faktörler/temalar incelendiğinde; kaynak sorunları, örgütsel süreçler, örgüt kültürü ve iklimi, denetim ihlalleri planlanan emniyetsiz faaliyetler, yetersiz denetim, fiziksel çevre, teknolojik çevre, fiziksel sorunlar, psikolojik durum, duyuşsal yanlış algılama, zihinsel farkındalık, takım çalışması, performans kaynaklı hatalar, karar verme hataları ve ihlallerin araştırmaya kapsamındaki kazalarına oluşumuna katkı sağlayan alt faktörler olduğu görülmüştür.

Örgütsel ve yönetsel faktörler uçuş görevlerini doğrudan ya da dolaylı etkileyen örgütsel kaynaklar, süreçler, kurallar, normlar, yönetim tarzı, örgütsel politika ve denetimlerle ilgilidir. Hava aracı kazalarına neden olan örgütsel

faktörler incelendiğinde, örgütsel faktörlerin çoğunluğunu örgütsel süreçler ve politikaların oluşturduğu görülmüştür. Örgütsel süreçler, bir örgütte faaliyetlerin icra edildiği aşamaları içine alan bir sistem olarak belirli kural ve politikalar çerçevesinde işler. Politikalar ise örgütsel faaliyetlere yön veren ilkelerdir. Örgütsel süreç ve politikalarından uzaklaşarak yapılan kural dışı, ihmalkâr ve riskli davranışlar kazaların oluşumuna neden olan emniyetsiz davranışları tetikleyebilir. Örgütün derin bir yanını ifade eden ve çalışanların davranışa yön veren kurallar bütünü olarak örgütsel kültürün de pozitif bir emniyet kültürü ile harmanlanmış olması havacılık sektöründe kazaların önlenmesine katkı sağlayabilir. Hava aracı kazalarına neden olan yönetsel faktörler incelendiğinde, yönetsel faktörlerin çoğunluğunu yetersiz denetim ve planlanan emniyetsiz faaliyetlerin oluşturduğunu söylemek mümkündür. Araştırma sonuçları incelendiğinde; yöneticilerin rutin faaliyetler için doğru nitelik ve nicelikte personel seçme ile faaliyetlerle ilgili risk değerlendirmesi yapma konusundan sorunlar yaşadığı ve örgütsel süreçleri tam olarak yürütemediği tespit dılmıştır. Yönetim; bir örgütte tüm faaliyetlerin örgütsel hedefler doğrultusunda planlı, etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayan bir örgütsel faaliyettir. Yönetsel aksaklıklar, faaliyetlerin yürütülmesinde karmaşa, kaos, verimsizlik, örgütsel hedeflerden sapma ve performans kaybına neden olabilir. Bu nedenle yönetici ve denetleyici pozisyonundaki çalışanların yasal yetkileri yanısıra liderlik özelliklerini de kullanmaları görevlerin planlı bir şekilde yürütülmesine ve astlarla daha iyi bir etkileşime katkı sağlayabilir.

Askeri hava aracı kazalarının oluşumuna en çok katkı sağlayan faktör olan ön koşullar, hava aracı operasyonları sırasında hava aracı ve uçuş ekibinin içinde bulunduğu çevresel koşullar ile uçuş ekibinin fiziksel ve zihinsel durumunu ifade etmektedir. Çevresel koşullara bakıldığında hem fiziksel hem de teknolojik çevrenin kazaların oluşumuna yaklaşık olarak aynı oranda katkı sağladığı; uçuş ekibinin görüşünü kısıtlayan kar, buz, sis, sağanak yağmur, bulut oluşumu gibi fiziksel çevresel koşullar ile otomasyon ve uçuş göstergeleri gibi teknolojik çevrenin kazaların oluşumunda etkili olduğu görülmüştür. Duyusal yanlış algılama ve zihinsel farkındalık eksikliğinin zihinsel durumla ilgili olan ve kazalara neden olan iki önemli sebep olduğu; takım çalışması yetersizliğinin ise özellikle uçuş görevi sırasında takım üyeleri arasındaki iletişim yetersizliklerinden kaynaklandığı görülmüştür. Uçuş ekibinin kendine özgüveni ve gönül rahatlığı içinde olarak rutin görevleri göz ardı etmesi, bireysel psikolojik durumla ilgili ve öne çıkan kaza sebeplerinden iki tanesidir. Kazalara neden olan fiziksel sorunların başında ise yorgunluk olduğunu söylemek mümkündür. Bu kapsamda, ön koşulların doğrudan görev sırasında ortaya çıkması, hava aracı ve uçuş ekibinin performansını doğrudan etkilemesi ve uçuş ekibinin fiziksel ve zihinsel durumuyla ilişkili olması nedeniyle diğer faktörlere kıyasla kazalara

daha fazla neden olduğunu söylemek mümkündür. Askeri uçuş operasyonlarının farklı çevresel koşullarda yapılması pilotları zihinsel ve fiziksel olarak yorarak sayıklama, şaşkınlık, bilinç kaybı, kafa karışıklığı gibi emniyetsiz davranışların yapılmasına neden olabilir. (Wiegmann and Shappell, 2003: 26). Bununla beraber uzun uçuş görevleri, gürültü, türbülans, aşırı ısıcağa maruz kalma, uyku düzensizliği, sirkadiyen ritim bozuklukları uçuş ekibinin yorgunluğunun sebepleri olarak görülebilir (Caldwell, 2005). Modern bir askeri uçakta uçuş ekibi teknolojik çevre de dâhil olmak üzere birçok kaynaktan gelen bilgi yoğunluğuna maruz kalır. Uçuş ekibi bu yoğun bilgileri zamanında ve yerinde işleyemez ise beklenmedik bir anda sürpriz kazalar meydana gelebilir (Allnut, 1987: 857).

Emniyetsiz davranışlar, görev sırasında uçuş ekibi tarafından istem dışı, dikkatsizlik, ihmal ya da disiplinsizlik sonucu sergilenen eylemlerdir. Araştırma sonucunda emniyetsiz davranışların büyük çoğunluğunu hatalı davranışların, çok azını ise ihmallerin oluşturduğu görülmüştür. Hatalı davranışların çoğunluğunu ise bireylerin yetenek ve performanslarından kaynaklanan hatalar oluşturmaktadır. Prosedürler ve çeklisti takip etmemek ile gerekli olan davranışı geç ya da aceleci yapmak sıkça karşılaşılan performans kaynaklı hatalar olarak görülmüştür. Kasıtlı olarak yapılan ihmalkâr davranışların az olması nedeniyle askeri uçuş ekibinin çoğunlukla emniyet ve uçuş kurallarına uyduğunu söylemek mümkündür. Bununla beraber, çalışanların kurallar dâhilinde görevlerini yaparken istemeyerek de olsa yaptıkları hata sayısının fazla olması, insanların kurallar dâhilinde hareket etse de fiziksel ve zihinsel sınırlılıklarından dolayı her zaman hata yapabileceğini göstermektedir. Söz konusu hataların da ciddi sonuçları ortaya çıkartabilecek istenmeyen olay ve kazalara dönüşmesi olasıdır. Bu kapsamda araştırma sonuçlarının araştırma kapsamında sorulan Askeri hava aracı kazalarına neden olan temel insan faktörleri nelerdir? ve Kazalara neden olan temel insan faktörleri hangi alt faktörlere ayrılmaktadır? sorularına cevap verecek nitelikte olduğu ve literatürdeki araştırma sonuçlarına benzer bulgular ortaya koyduğu düşünülmektedir.

Araştırmada ele alınan ve hava aracı kazalarına neden olan dört ana temanın birbirinden bağımsız düşünülmemeyeceğini, her birinin birbiriyle ilişkili olduğunu ve kazalara farklı derecelerde gizli ya da açık katkı sağladığını söylemek mümkündür. Havacılık kazalarının nedenlerini incelemeye çalışan SHELL Modeli (Wiegmann and Shappell, 2003), İsviçre Peyniri Modeli (Reason,1997); PEAR Modeli (Johnson ve Maddox, 2007), HFACS Modeli (Dönmez ve Uslu, 2018) gibi modeller, kazaların nedenlerini tek bir sebebe indirgemekten ziyade farklı faktörleri dikkate alarak sistematik ve ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Bu nedenle, havacılık kazalarının sebepleri arasında yer alan örgütsel faktörler, yönetimsel faktörler, ön koşullar ve emniyetsiz

davranışları tek başına kazaların sebebi olarak görülmemesi gerekir. Söz konusu dört tema arasında bir etkileşim söz konusudur. Örneğin, olumsuz örgütsel ve yönetsel faktörlerin askeri pilotların uygun olmayan süreçlere maruz kalmasına, uçuş görevleri için niteliksiz ve eğitimsiz personelin seçilmesine ve riskli uygulamalara neden olabileceğini; bu durumların da pilotların emniyetsiz davranışlar sergileyerek ciddi kazalar yaşamasına neden olabileceğini söylemek mümkündür. Uygun olmayan hava koşulları, gürültü, ısı farkları, bulut oluşumları, uçuş göstergelerinden gelen yoğun veri akışı, kokpitin teknolojik tasarımı, uçuş göstergeleri ve siviçlerinin yeri/boyutu gibi fiziksel ve teknolojik çevrenin ortaya çıkardığı koşullar uçuş ekibinin fiziksel ve zihinsel becerilerini etkileyerek bilinç kaybı, yorgunluk, dikkat dağılması gibi emniyetsiz davranışlara neden olabilecek faktörleri tetikleyebilir.

Araştırma bulguları sonucunda bazı öneriler yapılabilir. Ön koşulların kazalara neden olan çok önemli bir faktör olduğu düşünüldüğünde, uçuş ekibinin uçuş görevi sırasında içinde bulunacakları fiziksel ve teknolojik çevrenin farkında olması, bu çevreye karşı hazır bulunuşluklarını arttırmaları ve eğitimli olması, şahsi sağlık ve psikolojik durumlarına özen göstermeleri gerekir. Emniyetsiz davranışlardan kaçınmak için uçuş ekibi görev sırasında çeklist kullanmalı, prosedürleri takip etmeli, takım çalışmasına önem vermeli ve disiplinsiz davranışlardan kaçınmalıdır. Uçuş görevini planlayan, destekleyen ve icra eden askeri kurumlar ise örgüt kültürlerini emniyet kültürü üzerine inşa etmeli, örgütsel politika ve kurallar şeffaf ve net olmalı, uçuş görevi sırasında örgütsel kaynaklar etkin ve verimli kullanılmalıdır. Bununla beraber, kurum yöneticileri personelin sergilediği kasıtlı ve kasıtsız davranışları havacılık emniyeti için önemli bir olgu olan adil kültür kavramı kapsamında değerlendirerek personelin emniyetsiz davranışları rapor etmesini teşvik etmelidir. Emniyetsiz davranışların rapor edilmesi, bu davranışlardan ders çıkarılmasına ve örgütsel süreçlerin yeniden gözden geçirilerek iyileştirilmesine ve daha emniyetli uçuş faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bununla beraber, askeri havacılıkla ilgili gelecekte yapılacak araştırmalar farklı konu ve değişkenler dikkate alınarak yapılabilir. Adil kültür, gönüllü raporlama, ulusal kültürün askeri uçuş faaliyetlerine etkisi, X, Y ve Z kuşağı askeri personelin emniyetsiz davranışları ve uçuş ekibi, hava trafik ve uçak bakım gibi farklı görevler yapan askeri personelin hata ve ihmallerinin karşılaştırılması gibi konular askeri havacılıkta araştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Allnutt, M.F. (1987), "Human Factors in Accidents", *British Journal of Anaesthesia*, Vol. 59, pp. 856-864.
- Ayala, M.V.G. (2012), *Identification of Psychosocial Factors Effecting Naval Aviation Maintenance Technicians' Performance and Health*, Master Thesis, Embry-Riddle Aeronautical University Daytona Beach, Florida.
- Burgherr, Peter and Stefan Hirschberg (2008), "A Comparative Analysis of Accident Risks in Fossil, Hydro, and Nuclear Energy Chains", *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 14, No. 5, pp. 947-973.
- Caldwell, John A. (2005), "Fatigue in Aviation", *Travel Medicine and Infectious Disease*, Vol. 3, No. 2, pp. 85-96.
- Çoban, Ramazan (2017), "Bakım Kaynak Yönetimi: Uçak Bakımda İnsan Faktörü Üzerine Bir Araştırma", *Havacılık Emniyeti Yönetim Sistemi Sempozyumu*, ss. 88-113, Ankara.
- Çoban, Ramazan (2019), "Uçak Bakım Sektöründe İş Yükü ve Zaman Baskısı Üzerine Bir Örnek Olay Araştırması", *Journal of Aviation*, Vol. 3, No. 1, ss. 45-60.
- Çoban, Ramazan ve Sultan İpek (2020), "Sivil Havacılık Sektöründe Uçuş Güvenlik Görevlisi Uygulamaları Üzerine Kavramsal Bir Araştırma", *Journal of Aviation*, Vol. 4, No. 1, ss. 89-102.
- Çoban, Ramazan ve Tayfun Aydoğdu (2020), "Havacılık Sektöründe Zaman Baskısının Teknostrese Etkisi: Uçak Bakım Teknisyenleri Üzerine Bir Araştırma", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, Vol. 12, No. 3, ss. 2442-2460.
- Creswell, John W. (2017), *Araştırma Deseni Nitel, Nicel, ve Karma Yöntem Yaklaşımları*, (Çeviri Editörü: S. B. Demir), 3. Baskı, Ankara: Eğitilen Kitap Yayın Organizasyon.
- Demirkesen, Sevilay (2020), "Investigating Linear Models of Accident Causation: A Review Study in The Construction Safety Context", *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 38, No. 4, pp. 1939-1949.
- Deniz, Mehmet ve Ramazan Çoban (2016), "Örgütsel İklimin Çalışan Bağlılığına Etkisi ve Bir Araştırma", *Birey ve Toplum Dergisi*, Vol. 6, No. 12, ss. 49-72.
- Dönmez, Kadir ve Suat Uslu (2018), "The Relationship Between Flight Operations and Organizations in Aircraft Accidents; The Application Of The Human Factor Analysis And Classification System", *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, Vol. 19, NO. 2, pp. 316-333.
- Edwards, Elwyn (1988), *Introductory Overview*. In E. Wiener and D. Nagel (Eds.), *Human Factors in Aviation* (pp. 3-25), San Diego, CA: Academic Press.
- Ergai, Awatef (2013), *Assessment of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS): Intra-rater and Inter-rater Reliability*, https://www.academia.edu/21573880/Assessment_of_the_Human_Factors_Analysis_and_Classification_System_HFACS_Intra_rater_and_inter_rater_reliability, [23.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]

- Fitts, Paul Morris and Richard. E. Jones (1947), Analysis of Factors Contributing to 460 "Pilot Error" Experiences in Operating Aircraft Controls, Memorandum report TSEAA-694-12, Aero Medical Laboratory, Air Materiel Command, Wright-Patterson Air Force Base, OH.
- Fitts, Paul Morris and Richard E. Jones (1961), Analysis of Factors Contributing to 460 "Pilot Error" Experiences in Operating Aircraft Controls, In Selected Papers on Human Factors in The Design And Use of Control Systems, Ed. E. W. Sinaiko, pp. 332-358, New York: Dover Publications.
- Gerede, Ender (2005), "Havacılık Emniyetinin Artırılmasında Önemli Bir Araç: Emniyet Yönetim Sistemi," Ulusal Havacılık Sempozyumu ve Çalıştayı.
- Heimann, C. F. Larry (1993), "Understanding The Challenger Disaster: Organizational Structure and The Design of Reliable Systems", American Political Science Review, Vol. 87, No. 2, pp. 421-435.
- Helmreich, Robert L. (2000), "Culture and Error in Space: Implications From Analog Environments", Aviation, Space and Environmental Medicine, Vol. 71, No. 9-11, pp. 133-139.
- Hobbs, Alan (2008), An Overview of Human Factors in Aviation Maintenance, https://www.atsb.gov.au/media/27818/hf_ar-2008-055.pdf, [30.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- <https://www.asias.faa.gov/i/studies/2003-2007weatherrelatedaviationaccidentstudy.pdf>, [23.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- https://www.dcms.uscg.mil/Portals/10/CG-1/cg113/docs/pdf/DoD_HFACS7.0.pdf?ver=2017-02-23-152408-007, [25.09.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- https://www.faasafety.gov/files/gslac/courses/content/258/1097/AMT_Handbook_Addendum_Human_Factors.pdf, [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- <https://www.statista.com/statistics/239454/total-number-of-fighters-and-bombers-in-the-us-air-force-by-type/>, [24.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- <https://www.wired.com/2010/09/0917selfridge-first-us-air-fatality/>, [25.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- ICAO Doc 9806, (2002), Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual, First Edition.
- Johnson, William B. and Michael E. Maddox (2007), "A Model to Explain Human Factors in Aviation Maintenance", Avionics News, April 2007, pp. 38-41.
- Kahuho-Mwarari, Paula (2014), Human Factors as An Element in Aviation Accidents. Lessons Learnt From "Human Failure", https://www.academia.edu/37594387/Human_Factors_as_an_element_in_aviation_accidents_Lessons_learnt_from_Human_Failure, [26.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Kharoufah, Husam, John Murray, Glenn Baxter and Graham Wild (2018), "A Review of Human Factors Causations in Commercial Air Transport Accidents And Incidents: From to 2000–2016", Progress in Aerospace Sciences, Vol. 99, pp. 1-13.
- Kirwan, Barry, Rebecca Charles, Kathryn Jones, Wen-Chin Li, Jean Page, Will Tutton and Béatrice Bettignies-Thiebaut (2020), The Human Dimension In Tomorrow's Aviation System,

- <https://www.ergonomics.org.uk/common/Uploaded%20files/Publications/CIEHF-Future-of-Aviation-White-Paper.pdf>, [24.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Lyssakov, Nikolay and Elena Lyssakova (2019), "Human Factor as A Cause of Aircraft Accidents", *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, Vol. 321, pp. 130-132.
- Martinussen, Monica and David R. Hunter (2010), *Aviation Psychology and Human Factor*, NW: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Mossink, Jos and Marc de Greef (2002), *Inventory of Socioeconomic Costs of Work Accidents Office for Official Publications of the European Communities*, https://moodle.adaptland.it/pluginfile.php/7897/mod_resource/content/0/osha_inventory_socio_economic_costs_2002.pdf, [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Padil, Husna, M. N. Said and Amzar Azizan (2018), "The Contributions of Human Factors on Human Error in Malaysia Aviation Maintenance Industries", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-6.
- Pennie, D.J. N. Brook-Carter and W.H. Gibson (2007), *Human Factors Guidance for Maintenance*, <https://www.semanticscholar.org/author/D.-Pennie/70455882>, [29.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Peralman, Robert Z. (2015), *NASA Exhibits Space Shuttles Challenger, Columbia Debris for First Time*, <https://www.space.com/29794-space-shuttles-challenger-columbia-debris-exhibit.html>, [23.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Piwek, Gracja Dolores (2018), *Human Factor in Flight Safety*, *Hadmérnök XIII. Évfolyam* 4. Szám.
- Rajagopal, Chitra, Indra Deo Kumar, Ruchi Joshi and Binoy Bhargavan (2020), "Human Factors Considerations in New Generation Fighter Planes to Enhance Combat Effectiveness", *International Journal of Health and Medical Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 24-28.
- Reason, James (1990), *Human Error*, New York: Cambridge University Press.
- Reason, James (1997), *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Reason, James (2008), *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents And Heroic Recoveries*, Ashgate Publishing.
- Reason, James and Alan Hobbs (2003), *Managing Maintenance Error, A Practical Guide*, Ashgate, CRC Press.
- Salge, Markus and Peter M. Milling (2006), "Who is to Blame, The Operator or The Designer? Two Stages Of Human Failure in The Chernobyl Accident", *System Dynamics Review*, Vol. 22, No. 2, pp. 89-112.
- Shappell, Scott A. and Douglas A. Wiegmann (2000), *The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Washington.

- Shappell, Scott A. and Douglas A. Wiegmann (2004), "HFACS Analysis of Military and Civilian Aviation Accidents: A North American comparison", Proceedings of the Annual Meeting of the International Society of Air Safety Investigators, Australia: Gold Coast.
- Sharit, Joseph (2006), Human Error, In Handbook of Human Factors and Ergonomics, (Ed.: Gavriel Salvendy), Third Edition, pp. 708-760.
- Siğrı, Ünsal (2021), Nitel Araştırma Yöntemleri, 2. Baskı, İstanbul: Beta Basım.
- Şimşek, Şerif, Tahir Akgemicı ve Adnan Çelik (2011), Davranış Bilimlerine Giriş ve Örgütlerde Davranış, 7. Baskı, Ankara: Gazi Kitabevi.
- Ustaömer, Temel Caner (2020), "Havacılıkta Emniyet Kültürünün Ölçümüne Yönelik Bir Araç Geliştirme: Türk Pilotlar Üzerinde Bir Araştırma," Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Von Thaden, T.L., Douglas A. Wiegmann and Scott A. Shappell (2006), "Organizational Factors in Commercial Aviation Accidents", The International Journal of Aviation Psychology, Vol. 16, No. 3, pp. 239-261.
- Wiegmann, Douglas A. and Scott A. Shappell (2003), A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis The Human Factors Analysis and Classification System, Burlington, USA: Ashgate Publishing Company.
- Yıldırım, Ali ve Hasan Şimşek (2018), Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri, 11. Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık.

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE PRESENTEİZM: UÇUŞ VE BAKIM EMNİYETİ BAĞLAMINDA BİR ARAŞTIRMA

İnan ERYILMAZ, Şener ODABAŞOĞLU

GİRİŞ

Pilot ve hava aracı teknisyenlerinin uçak kazaları ve emniyetsizliğine neden olma potansiyelinin arka planında, insan faktörlerinin hava aracı kazalarının çoğunu açıklaması yatmaktadır. 1984-2011 yılları arasında gerçekleşen kazaların nedenleri incelendiğinde, kazaların %74'ünün mekanik olmayan yani insan faktörleri kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (FAA, 2013). Dahası 1990-2002 yılları arasında meydana gelen havacılık kazalarının, Ulusal Havacılık Güvenliği Veri Analizi Merkezi (NASDAC) tarafından gözden geçirilmesi sonucunda, %13,3'ünün operatörün fiziksel veya zihinsel durumu ile ilişkili olduğu görülmüştür (Shappell vd., 2007).

Havacılık otoriteleri, fiziksel ve zihinsel problem kaynaklı kazaların azaltılması, özellikle pilotların fiziksel ve psikiyatrik uçuş güvenliği tehlikeye atabileceği durumlarda uçuş görevinden uzaklaştırılması için birtakım yönetmelikler yayınlamıştır (European Commission Regulation, No 216/2008; No 1178/2011). İlgili yönetmeliklerde açıkça, "bir mürettebat üyesi, psikoaktif maddeler ile alkolün etkisi altındayken veya yaralanma, yorgunluk, ilaç, hastalık ve diğer nedenlerle uygun olmadığı uçuşta tahsis edilmiş görevleri yerine getirmemelidir" denilmiştir (ECR, No 216/2008). Ayrıca Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) psikiyatrik nedenlerle uçuş görevinden menedilecek durumları sıralamakla birlikte psikiyatrik sorunların önüne geçilebilmesi için (EASA, 2013), 2018'de akran pilot destek programını (Pilot Peer Support Programme PPSE) başlatmıştır. Ancak havacılık otoritelerinin kural ve uygulamalarına rağmen fiziksel ve zihinsel problemler nedeniyle kazalar gerçekleşmeye devam etmiştir. Örneğin 2009 yılında Colgan Air'in DHC8-400 uçağı Newyork yakınlarına düşmüş, mürettebat dahil 49 kişi ölmüştür. Yapılan incelemede pilotun yeterince uyuma ve dinlenme fırsatı bulamadığı hatta hasta olduğu (gripal enfeksiyon) Ulusal Ulaştırma Güvenliği Kurulu (NTSB) tarafından açıklanmıştır. Bir diğer önemli kazada 2015 yılında Germanwings firmasının 9525 sefer sayılı uçağının yardımcı pilot tarafından bilerek Fransa'da dağlık bir araziye düşürülmesidir. Kaza sonucunda yardımcı pilot da dahil 149 kişi hayatını kaybetmiştir. Kaza raporuna göre kazaya sebebiyet veren pilot, birçok kez firmadan gizli bir şekilde psikiyatrik destek almış, doktorlar tarafından intihara meyilli olduğu belirtilmiştir.

Bireyin fiziksel veya zihinsel rahatsızlığı nedeniyle dinlenmek ve iyileşmeyi beklemek yerine işi gitme durumunu tanımlayan presentizm fenomeni, örnekleri çoğaltılabilecek insan faktörü kaynaklı hava aracı kazalarından nedenlerinden biri olarak karşımıza çıkabilmektedir. Koopman ve arkadaşları (2002: 1) presentizmi, işgörenlerin fiziksel olarak işlerinin başında bulunmalarına rağmen yaptıkları işin kalitesinin ve verimlilik düzeyinin normalin altında olması olarak tanımlamaktadır. Presentizmi neden olan rahatsızlıkların başında grip, nezle gibi bulaşıcı hastalıklar (Levin-Epstein, 2005: 1) gelmektedir. Ayrıca baş ağrısı, migren, boğaz ağrısı, sırt ve boyun ağrıları, alerjiler, depresyon, stres, hipertansiyon, astım, diyabet, enfeksiyonlar ve uyku eksikliği de çalışanların presentizm sergilemesine neden olmaktadır (Caverley vd., 2007: 314). Çalışanların bu tip rahatsızlıkları olmasına rağmen işte sözde var olmalarını başlıca nedenleri ise bireysel, finansal ve örgütsel durumlar olduğu belirtilmektedir (Hansen ve Andersen, 2008).

Bu araştırmanın amacı, emniyet ve güvenliğinin birinci öncelik olduğu havacılık sektöründe işte sözde var olmanın (presentizm) olası sonuçlarının uçuş ve bakım emniyeti bağlamında değerlendirilmesidir. Ayrıca demografik değişkenler ve araştırma soruları çerçevesinde presentizmin öncülleri açıklanmaya çalışılacaktır. Ulusal literatürde presentizm ve havacılık sektörüne varsayılan etkisi daha önce araştırılmaması nedeniyle yazına katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Amerikan Psikoloji Derneği (APA) presentizmin, eski bir sorun için yeni bir kelime olduğunu belirtmektedir. Kavrama ilgi her geçen gün artmasına rağmen örgütler, işe devamsızlığı azaltmayı gündemde tutmayı sürdürmekte, presentizm davranışını ise göz ardı etmektedir (Staff, 2018). Bireyin sağlıklı olmasına rağmen işe gitmesi (Aronsson, Gustafsson ve Dallner, 2000; Dew, Keefe ve Small, 2005) olgusu her geçen gün daha fazla araştırma konusu olmaktadır.

Presentizm kavramı, performans ölçümü ve yönetimi konusunda öncü çalışmaları yapan ABD’de 2000’lerden itibaren önem kazanmaya başlamıştır (Yıldız ve Yıldız, 2013). Chapman (2005) ABD’li araştırmacıların presentizm üzerine çalışmalarını performans ve gelir kaybını önleme amacıyla çalışanı motive etme üzerinden şekillendirdiği, İngiliz araştırmacıların ise daha çok önlemeye yönelik stratejiler üzerinde odaklandığını belirtmiştir. Genel olarak araştırmalar ise yönetim ve özelinde örgütsel davranış alanında presentizm davranışının sıklığı, nedenleri olan bireysel ve örgütsel durumlar ile üretkenlik çıktıları arasındaki ilişkilerinin değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır (Johns, 2010: 530).

İngilizce literatürde kavram “presenteeism”, “sickness presenteeism” olarak ifade edilmektedir (Hansen ve Andersen, 2008). Bazı çalışmalarda ise ikili sınıflandırmaya gidilerek “sickness presenteeism” (illness-related presenteeism), “nonsickness presenteeism” (nonwork-related presenteeism) şeklinde kullanıldığı görülmektedir (Burton, Pransky, Conti, Chen, Edington, 2004; D’abate ve Eddy, 2007). Türkçe literatürde bu çalışmada da olduğu gibi presenteizm kavramını doğrudan kullanan çalışmalar olmakla birlikte (Koçoğlu, 2007), “işte var ol(ama)ma sorunu” (Çiftçi, 2010) veya “işte sözde var olma” (Yıldız ve Yıldız, 2013) ifadelerinin kullanıldığı da görülmektedir. Bu araştırmanın devamında doğrudan presenteizm kavramı kullanılacaktır.

İnsan kaynakları departmanları üretkenliği ve başarıyı işe devamsızlık üzerinden sıklıkla ele almakta, presenteizm davranışını ise görmezden gelmektedir. Ancak presenteizm davranışının maliyeti işe devamsızlıktan daha fazla olabilmektedir (Staff, 2018). Devamsızlık üzerine yürütülen araştırmalar, çalışanın devamsızlık davranışını azaltmak için iş koşullarının düzeltilmesi ile devamsızlık kültürünün değiştirilmesi için müdahalelere odaklanmıştır. Bunun için ise bireyin iş tatminini artırmayı, hedefler koyarak işe katılım ve motivasyon düzeyini etkilemeyi amaçlamaktadır (Ramsey, Punnett ve Greenidge, 2008). Presenteizm ise özellikle üretkenlik üzerine etkisinin ölçümü bireyin öz bildirimine dayanmakta, bu nedenle devamsızlığa kıyasla etkileri tam olarak ölçülememektedir (Dew ve Taupo, 2009).

Presenteizm davranışının arkasında farklı nedenler olabilmektedir. İşe devamsızlığın sigorta ve ücret açısından çalışan için maliyetli olduğu ülkelerde yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle saatlik, günlük, ücret yapısının olduğu üretim ve hizmet sektöründe devamsızlık düşük, presenteizm daha yüksek gerçekleşmektedir (Virtanen vd., 2003). Kavramın ekonomi ve sağlık üzerine etkileri bağlamında farklı görüşler bulunmaktadır (Dew ve Taupo, 2009). Bazı çalışanlar hastalık durumunda dâhi olsa işe gelmeyi herhangi bir etken olmamasına rağmen tercih edebilmektedir. Bu durumu en iyi işkoliklik kavramı açıklamaktadır. Ancak devam eden bu durum, zamanla iş performansında ve çalışanın motivasyonunda düşmeye neden olabilmekte, devamlılığı ise psikolojik etkileri ve stresi beraberinde getirebilmektedir.

Çalışanın özellikle iyi hissetmediğinde izin almak veya doktora gitmek yerine işe gelmeyi sürdürmesinin arkasında pek çok neden olabilmektedir. Genel olarak; çalışanın yaşadığı psikolojik sorunlar, stres, depresyon, uzun saatler çalışma kültürü, görev anlayışı, kariyer fırsatlarını kaçırma korkusu, görev yerinin veya hiyerarşik pozisyonun değişme korkusu, istihdam şartları, zaman baskısı ve iş çevresi presenteizm davranışına neden olabilmektedir (Caverley, Cunningham ve Macgregor, 2007: 318). Ayrıca iş güvencesinin olmayışı ekonomik kaygılar ve işyerinde sosyal adaletsizliğin çalışanın iş

yerinde sözde var olmasının arkasındaki temel nedenler arasında olduğu belirtilmektedir (Staff, 2018).

Yapılan bir çalışmada, iş güvenliği ile yönetici ve iş arkadaşları arasındaki ilişkinin presentizm ile yüksek korelasyon içinde olduğu görülmüştür. Dahası, ekip çalışması ve iş arkadaşları baskısı çalışanın iyi hissetmemesine rağmen işte bulunması için itici bir güç olarak hareket etmektedir (Caverley, Cunningham ve Macgregor, 2007). Hansen ve Andersen (2008) yüksek düzeyde iş birliğinin gerektiği veya çalışılanların işin tamamlanması için birbirine bağlı olduğu işlerde, çalışanın daha fazla presentizm sergilediğini belirtmiştir. Bir diğer neden ise bireyin işinden uzak kalması durumunda, iş arkadaşlarına iş yükünün artacağı endişesidir. Bu durum bireysel bir tercih olarak ortaya çıkabileceği gibi, takım çalışmasına ve desteğe sürekli vurgu yapılan iş ortamında çalışanın iş arkadaşlarına destek olamayacağı algısı nedeni ile gerçekleşebilmektedir (Dew, Keefe ve Small, 2005: 2275).

Havacılık sektörü küresel yolcu ve kargo talebi artışı ile her yıl istikrarlı bir şekilde büyümesini sürdürmektedir. Havayolu firmaları, her yıl artan ve yenilenen uçak filoları nedeniyle pilot ve teknisyen istihdamını arttırmakta ve istihdam şartlarını güncellemektedir (Steer Davies Gleave, 2015). Piyasa liberalizasyonun da etkisiyle işgören için rekabet koşulları kökten değişmiş, havayolu firmalarının performans kriterleri ağırlaşmıştır (Bronkhorst, 2015). European Cockpit Association tarafından 2012'de yayınlanan raporuna göre pilotların kendilerini uçuşa uygun olmadığını beyan etmemelerinin başlıca nedenleri arasında disiplin cezası alma veya iş arkadaşları tarafından damgalanma korkusu olduğu belirtilmektedir (European Cockpit Association, 2012). Bu araştırmanın temel sorusu; havacılık gibi emniyetin temel öncelik olduğu bir endüstride uçuş emniyet ve güvenliğine doğrudan etkisi olan pilot ve hava aracı bakım teknisyenlerinin presentizm ve emniyetsiz davranışları arasında bir farklılık var mıdır? olarak belirlenmiştir.

YÖNTEM

Bu araştırmanın amacı presentizm olası sonuçlarının uçuş ve bakım emniyeti bağlamında pilot ve hava aracı teknisyenleri örneğinde araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda farklı havacılık işletmelerinin İstanbul, İzmir ve Antalya bölgelerinde ikamet eden personeline araştırmacıların hazırladığı soru formu ve ölçek bir online anket formu ile ulaşılmıştır. Kolayda örnekleme yöntemi nicel araştırma deseni ile katılımcıların başlangıçta pilot ve havaaracı teknisyeni olup olmadığı kontrol sorusu teyit ettirilmiştir. Kolayda örnekleme yöntemi ile 202 katılımcıya ulaşılmıştır. Araştırmanın soru formu içerisinde katılımcıların demografik bilgileri (cinsiyeti, yaş, medeni durum, eğitim, iş tecrübesi, unvan, uçuş tecrübesi) yanı sıra literatürde presententeizme

atfedilen öncüllere dair bazı araştırma soruları ve son 12 ay içerisinde işte sözde var olması nedeniyle yaşamış olabileceği doğrudan ve dolaylı emniyetsiz davranışları içeren sorular yöneltilmiştir. Araştırmada kullanılan presenteizm ölçeği Koopman ve arkadaşları (2002: 20) tarafından geliştirilen ölçektir. Ölçek, 6 ifade ve 1 boyuttan oluşmaktadır. Araştırma ölçeği, “Sağlık sorunlarım olsa dahi işimle ilgili zorlu görevleri tamamladım”, “Sağlık sorunlarıma rağmen, işteki hedeflere odaklandım” şeklinde ifadeler içermektedir. Araştırma sorularına verilecek cevaplar 5’li likert tipi ölçeği yöntemine göre hazırlanmıştır. Baysal (2012: 73) ölçeğin güvenilirlik katsayısını (Cronbach Alpha) 0,87 olarak hesaplamıştır. Bu çalışmada ölçeğinin güvenilirlik katsayısı 0,88 olarak hesaplanmıştır. Birinci düzey doğrulayıcı faktör analizinden elde edilen uyum iyiliği değerleri $\chi^2=987,023$ $p=0,000$; $\chi^2/sd=2,008$; RMSEA=0,076; CFI=0,94; GFI=0,93 önerilen tek faktörlü modelin veri ile uyumlu ve kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Araştırma verileri Ocak-Haziran 2020 tarihler arasında toplanan araştırma verileri, SPSS istatistik programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

BULGULAR

Araştırma örneklemine ilişkin demografik özellikler Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Demografik Özelliklere Dair Bulgular

Değişkenler n=202	Alt Kategorileri	Frekans (n)	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kadın	8	4
	Erkek	194	96
Yaş	18-27	50	25
	28-35	51	25
	35-44	51	25
	45 ve-üstü	50	25
Medeni Durum	Evli	143	70,7
	Bekar	59	29,3
Çocuk Durumu	Yok	83	41
	Var	119	59
Eğitim Durumu	Ön Lisans	64	31,6
	Lisans	102	50
	Lisansüstü	36	18,4
İş Tecrübesi	0-3	50	25
	4-9	51	25
	10-14	51	25
	15 ve üstü	50	25
Görev Unvanı	Pilot	96	47,5
	Teknisyen	106	52,5

Katılımcıların demografik özellikleri değerlendirildiğinde; 202 havacılık sektörü çalışanın %4'ü kadın, %96'sı erkektir. Bu durum, pilot ve teknisyen özelinde havacılık sektörünün erkek çalışan ağırlıklı yapısına benzer bir yapıdadır. Yaş değişkenine göre katılımcılar kategorik olarak sınıflandırılmamış, açık uçlu soru ile yaş bilgileri toplanmıştır. Bu duruma göre katılımcıların yaş ortalaması 34, yaş ortanca değeri (medyan) ise 37'dir. Katılımcıların %70'7'si evli, %29,3'ü ise bekâr, %59'unun çocuğu var, %41'inin ise çocuğu yoktur. Katılımcıların eğitim durumuna bakıldığında; yarısı lisans, %31,6'sı ön lisans düzeyinde, ve %18'4'ünün ise lisansüstü düzeyde olduğu görülmüştür. İş tecrübesi değişkeni de yaş değişkenine benzer şekilde açık uçlu soru ile ölçülmüştür. Katılımcıların ortalama iş tecrübesi 8,7 yıldır. Katılımcıların görev unvanlarına bakıldığında ise %47,5'i pilot, %52,5'i ise teknisyendir.

Presenteizm davranışının öncülü ve göstergeleri olduğu belirtilen literatürdeki çalışmalardan (Çiftçi, 2010; Johns, 2011) hareketle bazı araştırma soruları yazarlar tarafından oluşturulmuş ve katılımcılara yöneltilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Presenteizm Davranışına İlişkin Araştırma Soruları

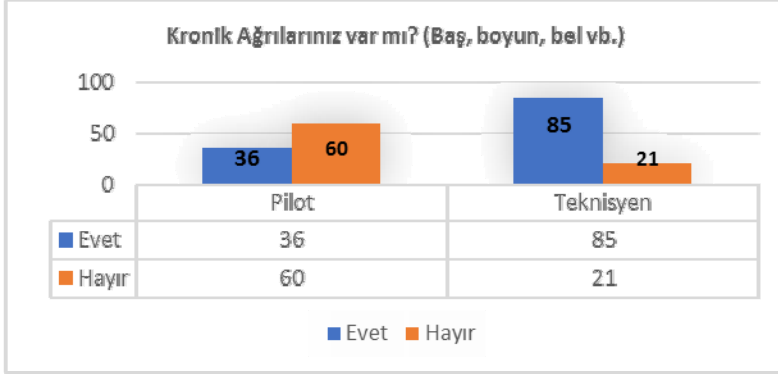
Araştırma Soruları (N=202)	Cevaplar	Frekans (n)	Yüzde (%)
Mevcut işinizi kaybetmeniz halinde sizin ve/veya ailenizin geçinebilecek düzenli geliri var mı?	Evet	44	22
	Hayır	158	78
Hane içerisinde yaşlı, hasta, engelli ve bakıma muhtaç biri var mı?	Evet	47	23
	Hayır	155	77
Son 1 yıl içerisinde hasta oldunuz mu?	Evet	174	86
	Hayır	28	14
Son 1 yıl içerisinde sağlık sorunlarınız nedeniyle kaç kez hastaneye veya sağlık kuruluşuna gittiniz?	Evet	22	11
	Hayır	180	89

Katılımcılara öncelikle işini kaybetmesi durumunda ekonomik olarak mevcut durumunu sürdürebileceğine ilişkin bir soru yöneltilmiştir. Katılımcıların %22'si işini kaybetmesi halinde düzenli bir geliri olduğunu beyan ederken, %78'i işini kaybetmesi halinde düzenli bir gelirin olmadığını beyan etmiştir. Katılımcıların ailevi durumlarını öğrenebilme adına, hane içinde hasta, engelli, yaşlı ve bakıma muhtaç birilerinin olup/olmadığı sorulmuş, katılımcıların %23'ü evet cevabı, %77'si ise hayır cevabı vermiştir.

Katılımcıların bireysel sağlık durumunu öğrenebilmek için son 1 yıl içerisinde hasta olup olmadıkları sorulmuştur. Araştırma Covid 19 öncesi

dönemde yapıldığından pandemi etkisinden bağımsız değerlendirildiğinde %86'sı hasta olduğunu, %14'ü ise hasta olmadığını belirtmiştir. Herhangi bir bireysel sağlık sorunu nedeniyle sağlık kuruluşuna başvuru durumuna bakıldığında ise sadece %11'i hastaneye gittiğini beyan etmiştir.

Katılımcıların bireysel sağlık sorunlarının detayını öğrenebilmek için kronik ağrı durumlarına ilişkin soru yöneltilmiştir. Pilot ve teknisyenlerin kronik ağrı şikayetleri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Pilot ve Teknisyen Katılımcıların Kronik Ağrı Beyanlarının Dağılımı

Şekil 1 incelendiğinde 96 pilot katılımcının %37,5'i kronik ağrıları olduğunu belirtirken %62,5'i kronik ağrıları olmadığını belirtmiştir. Teknisyenler açısından değerlendirildiğinde ise 106 katılımcı teknisyenin, %80,1'i kronik ağrıları olduğunu, %19,9'u ise kronik ağrıları olmadığını belirtmiştir.

Pilot ve teknisyen katılımcılara son bir yıl içerisinde doğrudan veya dolaylı etkisi olduğunu düşündüğü, raporladığı veya raporlamadığı emniyetsiz durum ve davranış yaşayıp yaşamadığı sorulmuştur. Katılımcıların "Evet veya Hayır" olarak kategorize edilmiş cevapları, presenteizm ölçeği ortalaması ile karşılaştırma amacı ile normal dağılım gösteren verilere T-testi yapılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Presenteizm ve Emniyetsiz Davranış Ortalamaları

Değişken	Katılımcının dahil olduğu emniyetsiz davranış (Son 1 yıl içerisinde)	N	ORT.	S.S	t	p
Presenteizm	Evet	48	3,83	0,986	0,607	0,009
	Hayır	154	2,96	0,875		

Tablo 3 değerlendirildiğinde katılımcıların %23,7'si son bir yıl içerisinde emniyetsiz davranış yaşadığını, %76,3'ü ise emniyetsiz davranış yaşamadığını bildirmiştir. "Evet" seçeneğini seçen katılımcıların presentizm ölçeği ortalamaları 3,83, hayır seçeneğini seçen katılımcıların ise 2,96 olduğu görülmüştür. Ortalamalar açısından farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını görmek için T-testi yapılmış ve ortalamalar arası farklılığın %95 güven aralığında anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırma, katılımcı pilot ve teknisyenlerin hastalık durumunda işte sözde var olmalarının nedenleri ve emniyet bağlamında olası etkisini araştırmayı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusundan araştırma soruları ve presentizm ölçeği katılımcılara yöneltilmiş, toplanan veriler SPSS istatistik programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, katılımcıların %78'i işini kaybetmeleri halinde başka bir düzenli geliri olmadığını beyan etmiştir. Genel olarak; çalışanın yaşadığı psikolojik sorunlar, stres, depresyon, uzun saatler çalışma kültürü, görev anlayışı, kariyer fırsatlarını kaçırma korkusu, görev yerinin veya hiyerarşik pozisyonun değişme korkusu, istihdam şartları, zaman baskısı ve iş çevresi presentizm davranışına neden olabilmektedir. Ayrıca özellikle saatlik, günlük, ücret yapısının olduğu üretim ve hizmet sektöründe devamsızlık düşük, presentizm daha yüksek gerçekleşmektedir (Johns, 2011). Katılımcıların üçte ikisinin mevcut işi haricinde başka gelir kaynağı olmaması başka nedenlerle birlikte presentizm davranışının nedenlerinden olabilir.

Katılımcıların %86'sı bir yıl içerisinde en az bir kez hasta olduklarını beyan etmiş olmalarına rağmen, sadece %11'i hastalıkları için herhangi bir sağlık kuruluşuna başvurmuştur. Ayrıca katılımcı teknisyenlerin %80'i, pilotların ise %38'i kronik ağrıları olduğunu beyan etmektedir. İşe devamsızlık ile presentizm arasındaki negatif korelasyon (Miraglia ve Johns, 2015) ve bulgulardan hareketle katılımcı pilot ve teknisyenlerin hasta olma durumlarında dâhi işlerine devam etmiş olduğu söylenebilir. Yüksek riskli mesleklerden olan pilot ve teknisyenlik arasında presentizm, devamsızlıktan daha fazla risk ve maliyeti olabilmektedir (Goetzel vd, 2004).

Araştırmanın sorusunu cevaplamak için yapılan T-testi sonucunda presentizm davranış ortalaması yüksek olan pilot ve teknisyenler, presentizm davranış ortalaması düşük olan pilot ve teknisyenlere kıyasla önceki 12 ay içinde daha fazla emniyetsiz davranış yaptıklarını belirtmiştir. Literatürde de benzer bulgulara erişilmiştir. European Cockpit Association, (2012) raporlarına

göre pilotlar bilişsel kapasitelerini azaltılabilecek hastalıklar veya sağlık problemleri beyan etmenin başarısızlık olarak algılanabileceğini değerlendirmekte, devamsızlık durumunu grup içinde damgalanacakları endişesi ile presenteizme kıyasla daha az meşru olarak görmektedirler. Bu durumun uçuş emniyetini tehlikeye atması muhtemeldir (Bor, Field ve Scragg, 2002). İsveçli pilotlar üzerine yapılan başka bir çalışmada da mental rahatsızlıkların presenteizme ve uçuş emniyeti ile ilgili problemlere neden olduğu bulgulanmıştır (Johansson ve Melin, 2019).

Araştırma bulguları presenteizm davranışının olumsuz etkilerine ulusal havacılık sektöründe dikkat çekmesi açısından bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Bu nedenle özellikle örgüt kültürü ve iklimi, uçuş emniyetine doğrudan etkisi olan pilot ve teknisyenler üzerinde herhangi bir sağlık problemi yaşandığında kolaylıkla ifade edebilecek bir şekilde kurgulanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın bazı temel sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle araştırma, kesitsel, ilişkisel tasarım ve öz-bildirim olup, anket doldurma esnasında öznel yorumların, yanlılıkları içermektedir.

KAYNAKÇA

- Aronsson, G., Gustafsson, K., ve Dallner, M. (2000). Sick but yet at work. An empirical study of sickness presenteeism. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 54, 502–509.
- Bor, R., Field, G., ve Scragg, P. (2002). The mental health of pilots: An overview. *Counselling Psychology Quarterly*, 15 (3), 239–256. doi:10.1080/09515070210143471
- Bronkhorst, B. (2015). Behaving safely under pressure: The effects of job demands, resources, and safety climate on employee physical and psychosocial safety behavior. *Journal of Safety Research*, 55, 63–72. doi:10.1016/j.jsr.2015.09.002
- Burton, W. N., Pransky, G., Conti, D. J., Chen, C-Y. ve Edington, D. W. (2004). The association of medical conditions and presenteizm. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 46(6), 38-43.
- Caverley, N., Cunningham, J. B. ve Macgregor, J. N. (2007). Sickness presenteizm, sickness absenteizm, and health following restructuring in a public service organization. *Journal of Management Studies*, 44(2), 304-319
- Caverley, N., Cunningham, J. B. ve Macgregor, J. N. (2007). Sickness presenteizm, sickness absenteizm, and health following restructuring in a public service organization. *Journal of Management Studies*, 44(2), 304-319.
- Chapman, L. S. (2005). The art of health promotion, presenteeism and its role in worksite health promotion. *American Journal of Health Promotion*, 19(4), 1-15.
- Çiftçi, B. (2010). İşte var ol(ama)ma sorunu ve işletmelerin uygulayabileceği çözüm önerileri. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, 1(1), 153-174.

- D'abate, C. P. ve Eddy, E. R. (2007). Engaging in personal business on-the-job: Extending the presenteeism construct. *Human Resource Development Quarterly*, 18(3), 361-383.
- Dew, K. ve Taupo, T. (2009). The moral regulation of the workplace: Presenteeism and public health. *Sociology of Health & Illness*, 31, 994-1010.
- Dew, K., Keefe, V. ve Small, K. (2005). Choosing to work when sick: Workplace presenteeism. *Social Science & Medicine*, 60, 2273-2282.
- European Aviation Safety Agency. (2013). Acceptable means of compliance and guidance material to part-MED. Retrieved from <https://www.easa.europa.eu/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials>
- European Cockpit Association. (2012). Pilot fatigue barometer, 23. Retrieved from www.eurocockpit.be
- European Commission. Commission Regulation (EU) No 1178/2011 of 3 November 2011 laying down technical requirements and administrative procedures related to civil aviation aircrew pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council [2011] OJ L311/1
- European Commission. Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council of 20 February 2008 on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Aviation Safety Agency, and repealing Council Directive 91/670/EEC, Regulation (EC) No 1592/2002 and Directive 2004/36/EC [2008] OJ L91/1
- Federal Aviation Administration FAA (2013.). Causal factors for general aviation accidents/incidents between January 1984 and October 2004. Retrieved from https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/small_airplanes/cos/media/causal%20factors%20-%20final%20report.pdf
- Gawron, V. J. (2016). Overview of self-reported measures of fatigue. *The International Journal of Aviation Psychology*, 26(3-4), 120-131. doi:10.1080/10508414.2017.1329627
- Goetzel, R. Z., Long, S. R., Ozminkowski, R. J., Hawkins, K., Wang, S., ve Lynch, W. (2004). Health, absence, disability, and presenteeism cost estimates of certain physical and mental health conditions affecting U.S. employers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 46(4), 398-412.
- Hansen, C. D., & Andersen, J. H. (2008). Going ill to work - what personal circumstances, attitudes and work-related factors are associated with sickness presenteeism? *Social Science and Medicine*, 67, 956-964.
- Johansson, F., ve Melin, M. (2019). Fit for Flight? Inappropriate Presenteeism Among Swedish Commercial Airline Pilots and Its Threats to Flight Safety, *The International Journal of Aerospace Psychology*. DOI: 10.1080/24721840.2018.1553567.
- Johns, G. (2010). Presenteeism in the workplace: A review and research agenda. *Journal of Organizational Behavior*, 31, 519-542.

- Johns, G. (2011). Attendance dynamics at work: The antecedents and correlates of presenteeism, absenteeism, and productivity loss. *Journal of Occupational Health Psychology, 16*(4), 483–500.
- Koçoğlu, M. (2007). İşletmelerde Presenteizm Sorunu ve İnsan Kaynakları Yönetimi Çerçevesinde Mücadele Yöntemleri. İstanbul: Yayınlanmamış, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Koopman, C, Pelletier, K. R., Murray, J. E, Sharda, C. E., Berger, M. L, Turpin, R. S., Hackleman, R, Gibson, R, Holmes, D. M. And Bendel, X. (2002). "Stanford Presenteizm Scale: Health Status and Employee Productivity", *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 44*(1), 14-20.
- Levin-Epstein, J. (2005). Presenteeism and Paid Sick Days. <https://www.clasp.org/sites/default/files/public/resources-and-publications/publication-1/0212.pdf>
- Miraglia, M., & Johns, G. (2015). Going to work III: A meta-analysis of the correlates of presenteeism and a dual-path model. *Journal of Occupational Health Psychology, 21*(3), 261–283.
- Ramsey, J. B., Punnett, J. ve Greenidge, D. (2008). A social psychological account of absenteeism in Barbados. *Human Resource Management Journal, 18*(2), 97-117.
- Shappell, S. A., Detwiler, C., Holcomb, K., Hackworth, C., Boquet, A., & Wiegmann, D. A. (2007). Human error and commercial aviation accidents: An analysis using the human factors analysis and classification system. *Human Factors, 49*(2), 227–242.
- Staff, R. (2018). Handling presenteeism in the workplace, rise people. Erişim adresi: <https://risepeople.com/blog/presenteeism-at-work/>.
- Steer Davies Gleave. (2012). Study on the effects of the implementation of the EU aviation common market on employment and working conditions in the air transport sector over the period 1997/2010. Brussels, Belgium: European Commission. Retrieved from https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/studies/doc/internal_market/employment_project_final_report_for_publication.pdf
- Virtanen, M., Kivimäki, M., Elovainio, J., Vahtera, J. ve Ferrie, J. E. (2003). From insecure to secure employment: Changes in work, health, health related behaviors, and sickness absence. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 60*, 948-953.
- Yıldız, H. ve Yıldız, B. (2013). İş yaşamında presenteizm -sözde var olma- olgusu: Sağlık ve verimlilik açısından önemi. 7. Sağlık ve Hastane idaresi Kongresi Bildiriler Kitabı (27-29 Eylül), Konya: Selçuk Üniversitesi, 819-830.

HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN DİJİTALLEŞME SÜRECİNE YERLİ VE MİLLİ DESTEK: HİTİT BİLGİSAYAR HİZMETLERİ A.Ş.'YE YÖNELİK BİR İNCELEME

Armağan MACİT

GİRİŞ

Günümüzde Endüstri 4.0 kapsamında önem kazanan dijitalleşme, global dünyada kişilerden işlere kadar adaptasyon gerektiren bir süreç olarak ortaya çıkmıştır. Teknoloji yoğun bir sektör olan havacılık sektörü, dijital teknolojilere de diğer ulaştırma modlarından daha hızlı ve kolay bir geçiş yaşamıştır. 2019 yılının sonunda Çin'de ortaya çıkarak 2020 yılında küresel bir pandemi haline gelen Covid-19 hastalığı, havacılık sektöründe dijitalleşme sürecini oldukça hızlandırmıştır. Havayolu işletmeleri rezervasyon, biletleme, check-in, boarding, yük & denge, sadakat programları vb. birçok iş sürecinde bilgisayar teknolojileri kullanmaktadır. Birçok havayolu işletmesi pandemi öncesi bilişim teknolojilerini yoğun olarak kullanırken, pandemi yolcuların da dijitalleşme sürecine destek olmasını ve bu doğrultuda dijitalleşmenin farklı bir boyut kazanmasını sağlamıştır.

Havayolu işletmeleri dijital teknolojileri bir pazarlama aracı olarak kullanarak, rekabet avantajı elde etmenin yolunu aramaya başlamıştır. Sadık müşteri yaratma, maliyetleri azaltma, yolcu davranışlarını takip edebilme, hedef kitleye ulaşabilme gibi birçok rekabet ögesini dijital teknolojiler aracılığı ile kolayca gerçekleştirebilmektedirler. Bu kapsamda havayolu işletmelerinin ihtiyaçlarına uygun ve hedefleri gerçekleştirebilecek yazılımlar önem kazanmaya başlamıştır. Havayolu işletmeleri kendi isterleri doğrultusunda kendilerine özgü ara yüze ve özelliklere sahip programları tasarlatma davranışı göstermişlerdir. Dünya'da farklı ülkelerde havayolu işletmelerinin bu taleplerini karşılamaya çalışan önemli işletmeler bulunmaktadır. Son yıllarda havacılık bilişim teknolojileri konusunda ülkemizde de önemli atılımlar yapan bir işletme olarak HİTİT Bilgisayar Hizmetleri A.Ş. dikkat çekmektedir.

HİTİT, 1994 yılında Türk Havayolları'ndan ayrılan iki yönetici tarafından kurularak, 25 yılı aşkın süredir tüm seyahat endüstrisine havayolu bilgisayar teknolojileri çözümleri sağlayan bir hizmet işletmesidir. İşletme 2019 yılı itibarıyla dünyanın en büyük 3. yolcu sistemi sağlayıcısı olmuştur. Günümüzde

HİTİT bilgisayar teknolojileri 80 binden fazla temsilci tarafından kullanılarak, 240 havaalanında, yıllık 65 milyondan fazla yolcuya hizmet verilmesini sağlamaktadır. Bu işletmenin tamamen yerli bir işletme olması, havayolu işletmelerinin dijitalleşme sürecinde önemli derecede yerli desteğin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, havayolu işletmelerinin dijitalleşme sürecine projeksiyon tutmak amacıyla, HİTİT Bilgisayar Hizmetleri işletmesinin havayolu işletmelerine sunduğu bilgisayar teknolojilerinin ve hizmetlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan bilişim teknolojilerinin dijitalleşme sürecindeki etkisini ortaya çıkarmak hedeflenmektedir.

Çalışmada, havayolu işletmelerinin dijitalleşme sürecini ortaya koymak amacıyla geçmişten günümüze kadar havayolu işletmelerinin yaşadığı dijital dönüşüm için literatür taraması yapılarak irdelenmiştir. HİTİT Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'nin bilgisayar teknolojileri ve hizmetlerinin araştırılması içinse içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. İşletmenin web sitesi, sosyal medya hesapları ve işletme hakkında çıkan haberler incelenerek sonuç çıkarılmaya çalışılmıştır.

ENDÜSTRİ 4.0 VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Sanayileşmenin başlangıcından itibaren makineleşme ve dijitalleşme benzeri teknolojik sıçramalar ile endüstriyel devrimler yaşanmıştır. Fabrikalarda gelişmiş bir dijitalleşme temelinde, İnternet teknolojileri ile akıllı nesnelerin yazılım ile desteklenmesi ile planlı bir 4. Sanayi devrimi projesi olarak "Endüstri 4.0" kavramı ortaya çıkmıştır (Lasi vd., 2014:239). Yeni geliştirilen teknolojilerin üretime entegre edilmesi yeni bir dönemi başlatmıştır. Gerçekleşen dijital dönüşüm sağladığı rekabet avantajları ile işletmeler açısından benimsenmiştir (Gökalp vd., 2017: 128).

Bireylerin yaşama ve çalışma biçimini temelde yeniden şekillendiren endüstri 4.0, başta imalat endüstrisine yönelik olarak ortaya çıkmasına rağmen, günümüzde akıllı üretimin ortaya çıkışından tüm değer dağıtım kanallarının dijitalleştirilmesine kadar olan endüstriyel ve tüketici pazarlarının dijital dönüşümünü kapsamıştır (Ghobakhloo, 2020:2). Bu durum endüstri 4.0 kavramının temelinde dijital dönüşümün bulunduğunu göstermektedir.

"Dijitalleşme" ve "Dijital Dönüşüm" birbirinin yerine sıklıkla tercih edilen kavramlardır. Terim anlamına göre, analog verilerin görüntü, video gibi dijital verilere dönüştürülmesi, akademik literatüre göre ise "dijital teknolojinin toplumunun tüm yönlerinde uygulanmasıyla ilişkili değişiklikler" olarak ifade edilmektedir (Parviainen vd., 2017; Stolterman & Fors, 2004).

Dijitalleşmenin etkisi ile işletmeler, devlet kurumları ve diğer Kuruluşlar ile müşteriler arasındaki ilişkiler yeniden şekillenmektedir. Aynı zamanda yeni iş modelleri de geliştirilmektedir. Bugün, endüstrilerdeki işletmeler, yeni iş fırsatlarını takip etmek ve hızla değişen küresel iş ortamına ayak uydurmak için çevikliğe, hıza, esnekliğe ihtiyaç duymaktadır. Dijitalleşme, ileri teknolojiyi tüm süreçlerin, ürünlerin ve hizmetlerin merkezine yerleştirmenin önemini vurgulamaktadır (Parida, 2018:23).

İşletmelerin dijitalleşmesi daha önceleri el veya mekanik makineler ile yürütülen süreçlerin, bilgisayar ortamına aktarılması şeklinde iken günümüzde, bilgisayar ortamın sunduğu fırsatların daha iyi değerlendirilmesi ve bu ortama özel yeni problemlerin doğru yönetilmesi olarak geniş kapsamlı değerlendirilmektedir (Fichman vd., 2014:329).

Dijitalleşmenin maliyetleri düşürme, üretim ve hizmet süreçlerini kolaylaştırma, kaliteyi artırma gibi sağladığı birçok avantaj, farklı sektörler tarafından dijital dönüşüm çalışmalarının hız kazanmasına sebep olmuştur (Türker, 2018:210). Her sektör iş kolu, faaliyetleri ve süreçlerine uygun dijital dönüşüm gerçekleştirerek teknolojinin daha da gelişmesini sağlamaktadır.

Dijitalleşme küresel iletişimin kolaylaşmasını sağlayarak, iletişimin sürdürülebilirliği için önemli bir kanal oluşturmuştur. 2020 yılında Covid-19 pandemisinin küresel olarak etkili olması ile sosyal mesafe ve kısıtlamalara ihtiyaç duyulması sonucu, dijitalleşmenin iletişimde daha da fazla etkili olması durumu ortaya çıkmıştır. Tüm sektörlerde yaşanan dijital dönüşüm Covid-19 pandemisinin etkisi ile daha çok ilgi çekmiştir. Küresel işletmelerinin pandeminin etkisi ile daha fazla benimsedikleri Dijital dönüşümün, gelecekte de etkisinin sürmesi beklenmektedir (Marangoz & Özen, 2021:58).

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Elektronik donanımlar ve yazılım açısından yaşanan gelişmeler farklı sektörler tarafından ilgi ile karşılanırsa da, teknoloji yoğun olan otomotiv ve havacılık sektörleri dijitalleşme konusuna daha çok eğilmektedir (Chang vd.,2019:926). Yeni dijital teknolojilerin uygulanması, küresel etkileşim ve hizmet sektörü olmaları açısından turizm ve seyahat endüstrisinde daha yoğun olmuştur (Jarach, 2002:116).

Havacılık sektörünün dijitalleşmesi ve dijital dönüşümden kaynaklanan çok sayıda gelişme, her sektör ve özellikle ticari havacılık sektörü için önemli bir çerçeve oluşturmuştur. Havacılık endüstrinin hızla gelişen doğası, maliyet yapısı, güvenlik ve rekabet yoğunluğu gibi bileşenleri bu dönüşümde önemli bir rol oynamaktadır. Dijital strateji geliştiren yada stratejileri başarılı şekilde

uygulayan havacılık işletmeleri dijitalleşmenin etkisi ile genel verimlilik, maliyet, esneklik ve güvenlikle ilgili performanslarında iyileştirmeler gözlenmektedir (Rohen, 2015).

Havacılık işletmeleri için dijitalleşme rekabetin önemli koşullarından biri olarak görülmektedir. Bu sebeple, birçok havacılık işletmesi dijital yatırımlara öncelik vermekte ve rekabet avantajı elde etmek için gerekli olan büyük stratejik hamleler yapmaktadır. Ancak havacılık işletmelerinin dijitalleşmesi sadece teknolojiye yatırım yapmakla sağlanamamaktadır. Dijital argümanların, müşteri beklentileri ve işletme yapısı ile, örgütlenme ile ve işletmenin iş hedefleri ile uyumlu olması gerekmektedir (Savıcı Polat, 2020:554).

HAVAYOLU İŞLETMELERİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Havayolu işletmelerinin dijital kullanımının ilk örnekleri 1990'ların başında görülmüştür. Asenkron olarak müşteriler ile havayolu işletmeleri arasında önem derecesi düşük konularda bilgilendirme amaçlı sistemler ile ilk uygulamalar başlamıştır. Bu sistemler taşıyıcıların web sitelerinde yazan uçak içi hizmetler, sunulan destinasyonlar, uçuş frekansları ve zaman çizelgeleri gibi bilgileri sağlamaktaydı. Daha çok acentalar tarafından sağlanan bu bilgilerin dijital sistemlerden verilmesi maliyetlerde etki uyandırmaya başlamıştı (Jarach, 2002:116).

Daha sonraları havayolu işletmeleri için rezervasyon ve satışlar için yeni dağıtım kanalları geliştirilmeye başlanmıştır. E-ticaret çözümlerinin uygulanması, bilgisayar rezervasyon sistemi (CRS) ara yüzlerine ve seyahat acentelerinin ticari uygulamalarına olan bağımlılıklarını yumuşatarak, taşıyıcıların maliyetlerini kontrol altına alma konusunda önemli bir olumlu etki yaratmıştır. Yapılan çalışmalar web satışlarının seyahat acenteleri ve CRS'ler aracılığıyla yapılan satışlardan 4 kat daha az maliyetli olduğunu göstermiştir (Jarach, 2002:116-117).

Havayolu hizmetleri, taşıyıcıların sürekli geliştirmekte olduğu kullanıcı dostu çevrimiçi dağıtım kanalları aracılığıyla artık kolay ve rahat bir şekilde erişilebilir durumdadır. Havayollarının sunduğu ürün ve hizmetlerde profil özelleştirmesinin yarattığı talebin yanı sıra tüketimdeki yeni kalıpları karşılamak için müşteri odaklı dijitalleşme teşvik edilmektedir.

Havayolu işletmelerinin sayısının artması ve yeni iş modelleri ile artan rekabet, havayolu işletmelerinin maliyet verimliliğini arttıracak yeni stratejileri oluşturmasına sebep olmuştur. Havayolu işletmelerinin üye olduğu ve ticari hava taşımacılığının verimliliği için çalışan IATA 2018 yılında, dijital müşterilerin beklentilerini karşılamak için havayolu süreçlerini tamamen yeniden

tasarlayarak, 2025'te bir havayolu şirketinin nasıl görünebileceğini temsil eden "Dijital Havayolu" vizyonunu ortaya koymuştur. Bayrak taşıyıcı, düşük maliyetli, bölgesel veya uzun menzilli havayolları iş modeli ayırt etmeksizin dijitalleşme sürecinin bir parçası olmaktadır (IATA, 2021).

HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN DİJİTAL DÖNÜŞÜMDEN SAĞLADIĞI FAYDALAR

Somut ticari stratejiye ve finansal planlamaya sahip, özelleştirilmiş ürünlerini sunmak için tüketici odaklı dijital araçlara odaklanan havayolu işletmeleri gelir maksimizasyonu, maliyet azaltma, ek gelir fırsatları, markalaşma ve sadakat konularında rekabet avantajı sağlamaktadır (Poulaki & Katsoni, 2020: 257). Dijital dönüşüm konusunda çalışmalarını sürdüren havayolu işletmeleri müşterileri, iş süreçleri ve finansal durumlar ile ilgili önemli faydalar sağlamaktadır. Müşteriler ile ilgili sağlanabilecek faydalar (Savıcı Polat, 2020:528);

- Dijitalleşmenin sağladığı iletişim kolaylığı ile müşteri hizmetlerinin iyileştirilmesi
- Etkin kriz ve aksaklık yönetimi sağlanması
- Hizmetlerin kişiselleştirilmesi ve özelleştirilmesi ile daha iyi bir yolcu deneyimi
- Yolcuya sunulan ek hizmetlerin ve hizmet çeşitliliğinin artması
- Pazarlamada yolcu desteğinin alınması
- Veri bilimleri, makine öğrenimi ve analitik teknikler ile daha iyi anlaşılabilir müşteri yaşam boyu değeri şeklinde özetlenebilir.

Havayolu işletmelerinin operasyon ve iş süreçleri ile ilgili sağlanabilecek faydalar (Savıcı Polat, 2020:528-529);

- Dış çevre ile kolay entegrasyon
- Artan marka değeri
- Verimli bir inovasyon döngüsünün yaratılması
- Piyasa dalgalanmalarına karşı korunma
- Geliştirilmiş iş analitiğinin kullanılması şeklinde özetlenebilir.

Havayolu işletmelerinin finansal olarak elde edebilecekleri faydalar ise (Bleicher & Stanley, 2016:63-67);

- Farklı maliyet kalemlerinde azalma
- Pazardaki etki ile gelirlerin artması

- Marka imajı ile hisse senetlerindeki artış
- Ek hizmet gelirlerinin artması şeklinde özetlenebilir.

HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN DİJİTAL UYGULAMALARI

Havayolu işletmeleri yoğun rekabetin etkisi ile pazarlama problemleri ve maliyet azaltma stratejilerine odaklanmışlardır. Dijitalleşmeyi de amaçlarına ulaşmayı sağlayacak bir strateji olarak benimseyerek, hızlı bir şekilde dijital dönüşüme uyum sağlamaya başlamışlardır. Havayolu işletmeleri, dijitalleşme konusunda yolcu deneyimini iyileştirme ve hizmet süreçlerinde zaman optimizasyonu amacı ile öncelikle havalimanı hizmet operasyon süreçlerinde ve kabin içi hizmet süreçlerinde dijitalleşmeye entegre olmuşlardır.

Küresel havayolu işletmeleri incelendiğinde genel olarak kullanılan dijital uygulamalar (Savıcı Polat, 2020:529);

- Online check-in ve boarding hizmetleri
- Çevrimiçi seyahat asistanı
- Dijital bagaj kartları (RFID)
- Havayolu mobil uygulamaları
- Dijital kabin yönetim sistemleri
- Uçak içi eğlence sistemleri
- Kabin içi temizlik robotları
- Dijital sadakat programları şeklinde gruplandırılabilir.

HAVAYOLU MOBİL UYGULAMALARI

Havayolu mobil uygulamaları, akıllı telefonlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş uygulama yazılımları olup, havayolu işletmelerinin dijital dönüşüm sürecinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bunun sebebi diğer dijital uygulamaların ortak bağlantı noktası olmalarıdır. Check-in, boarding, çevrimiçi asistan, RFID bagaj kartları gibi dijital hizmetler mobil uygulamalara entegre şekilde kullanılmaktadır.

Havayolu mobil uygulamaları, farklı para birimleri ile ödeme yaprak biletleme işlemleri, rezervasyon, upgrade-downgrade işlemleri, online check-in işlemleri, ek hizmet seçimleri, sadakat programları işlemleri, bilgilendirme ve yönlendirme konusundan yolculara dijital hizmet sunmaktadır (Savıcı Polat, 2020: 532).

ONLINE CHECK-IN VE BOARDING HİZMETLERİ

Havayolu işletmeleri bilet rezervasyonu işlemlerinden sonra, taşımacılık hizmeti öncesi müşterilerine havalimanı hizmeti olarak check-in ve boarding

hizmeti sunmaktadır. Check-in süreçlerinde seyahat dökümanlarının kontrolü, biniş kartının hazırlanması, bagaj etiketleme ve kayıt gibi süreçler bulunmaktadır. Boarding sürecinde ise uçağa alım aşamasında yolcuların biniş kartları ve kimliklerinin kontrol edilerek uçağa alım süreci gerçekleştirilmektedir.

Dijitalleşmenin etkisi ile yolcular havalimanlarında kiosk makinelerini kullanarak, yada bilgisayar, akıllı telefon ve tablet gibi cihazlarla havayolu işletmelerinin mobil uygulamalarından işlem gerçekleştirebilmektedir. Bu uygulamalar dijital olarak gerekli işlemlerin operasyon süreçlerine entegre edilmesi ve karekod, barkod gibi veriler ile dijital döküman hizmeti de sunmaktadır. Ayrıca havayolu işletmeleri check-in kontuarlarındaki işlem süreçlerini de dijital uygulamalar aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Boarding faaliyetleri de check-in sisteminin entegre edildiği dijital uygulamalar ve ekipmanlarla gerçekleştirilmektedir (THY, 2021). Özetle, havayolu işletmelerinin önemli bir havalimanı hizmet süreci yazılım ve donanım teknolojisindeki gelişim ile oldukça başarılı ve kolay bir şekilde gerçekleşmektedir.

ÇEVİRİMİÇİ SEYAHAT ASİSTANI

Havayolu işletmeleri yolcularının seyahat deneyimlerini kolaylaştırmak, yolcuları seyahat boyunca yönlendirebilecek, anlık istek ve taleplerine cevap verebilecek çevrimiçi seyahat asistanı hizmetlerini sunmaya başlamışlardır. Yapay zekâ ve makine öğrenme teknolojilerinden faydalanılarak geliştirilen programlar kullanıcıların sorularına mesajla, görsellerle veya sesli yanıt şeklinde geri dönüşler sağlamaktadır. Yolcular bu programlardan uçuşları sorgulama, fiyatları sorgulama, rezervasyon, check-in, mobil biniş kartı, kampanyalar, kabin içi ek hizmetler, havalimanı yönlendirmeleri konusunda faydalanmaktadır (Nergiz, 2012).

DİJİTAL BAGAJ KARTLARI (RFID)

Bagaj takibi sorunlarına çözüm bulmak üzere bagajların kablosuz iletişim tekniği ile takip edilmesi sistemine yönelik olarak geliştirilen dijital bagaj etiketi sistemidir. Havayolu işletmelerinden alınan dijital bagaj kartları, uçuşa özgü olmayarak sürekli kullanılabilir. Havayolu işletmelerinin dijital uygulamalarına entegre edilerek mobil olarak takip edilen bagajlar ile kayıp bagaj aksaklıkları azalmıştır. Aynı zamanda yolcuların bagajlarının teslimi için mesaj hizmeti olması, yolcuların havalimanındaki zamanlarını kontrol edebilmesini sağlamaktadır (Devries, 2008:152).

DİJİTAL KABİN YÖNETİM SİSTEMLERİ

Havayolu işletmelerinin operasyon maliyetleri içinde kabin operasyonlarının payı oldukça yüksektir. Bu sebeple kabin operasyonlarının dijital olarak yönetilmesinin maliyet avantajı getireceği düşüncesi ile havayolu

işletmeleri dijital kabin yönetim sistemlerini kullanmaya başlamışlardır. Uçak içerisinde kabin görevlilerinin yürüttüğü faaliyetler, doldurulması gereken formlar, bildirilmesi gereken kabin içi arızalar, uçağa yüklenmesi gereken ikram ve malzeme kontrolü, bir uçuş için uçağa kaç litre su alınması gerektiği bilgisinin ilgili birime iletilmesi gibi birçok işlem kabin yönetim sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bir haftalık bir süreç düşünüldüğünde binlerce kez uçuş gerçekleştiren bir havayolu için kabinde yapılan her işlemin binlerce kez tekrarlanması gerekmektedir. Arıza yok bildirimini, temizlik kontrolü, uçağa gıda ve temizlik ürünü yüklemesi, su yüklemesi gibi işlemlerin tekrarlanması kabin ekibinin zamanını alarak hizmet kalitesini etkilemektedir. Bu süreçlerde yaşanan aksaklıkların takibi de arşivlenme açısından sorunlara sebep olmaktadır. Dijital kabin yönetim sistemlerinin kullanılması ile birçok konuda zaman ve maliyet tasarrufu sağlanarak, hizmet kalitesi yükselmektedir. Kabin ekibinin tabletler aracılığı ile kolaylıkla kullanabildiği sistem operasyonel birçok avantaj sağladığı için havayolları hızlı bir şekilde bu teknolojiye uyum sağlamaktadır (İnova, 2015).

UÇAK İÇİ EĞLENCE SİSTEMLERİ

Havayolu işletmelere uçuş süresi boyunca yolcuların keyifli bir seyahat deneyimi yaşaması amacıyla dijital uçak içi eğlence sistemlerine yatırım yapmışlardır. Tablet, telefon veya dizüstü bilgisayarlar ile kullanılabilen bu sistemler uçak içerisinde koltuklara monte edilmiş ekranlar ile de sağlanabilmektedir. Uçak içi eğlence sistemleri film, müzik, tv programları, oyunlar, uçuş takibi, hava durumu, kabin ekibi ile iletişim, destinasyon tanıtımı gibi hizmetler sağlamaktadır (Savıcı Polat: 2020:533).

Ülkemizde THY Teknik AŞ. ile HAVELSAN iş birliğiyle, Türk mühendisleri tarafından yerli ve milli olarak geliştirilen, kablosuz uçak içi eğlence sistemleri, öncelik THY olmak üzere kullanıma sunulmuştur. Faaliyete alınan sistem ile THY filosunun %95'i uçak içi eğlence sistemine sahip olmuştur (Taşkiran, 2018).

KABİN İÇİ TEMİZLİK ROBOTLARI

Havayolu işletmeleri için yerde kaldıkları süre, işletmeye ek maliyet getirmektedir. Bu sebeple Turn around süresi oldukça kısa planlanmaktadır. Kısa sürede uçakların detaylı temizlik alması zor olacağı için genel anlamda yüzeysel temizlik işlemleri ile uçaklar yeni seferlerine hazırlanmaktadır. Bu durum uçakların zamanla çok daha hijyenik olmayan hale gelmesine sebep olmaktadır. Dijitalleşmenin etkisi ile uçakların kısa sürede UV ışınları ile temizlenmesini sağlayan robot teknolojileri geliştirilmiştir. Havayolu işletmeleri bu robotları kullanmaya başlamıştır. Bu teknolojiler ile zemin, uçak koltukları ve

diğer yüzeyler bakteri ve virüslerden arındırılabilir (Özbek, 2018). Özellikle Covid-19 döneminde kabin hijyenin daha önemli hale gelmesi, bulaş riskini azaltmak ve uçakları dezenfekte etmek amacı ile kabin içi temizlik robotlarının tercih edilirdiği artmaktadır.

DİJİTAL SADAKAT PROGRAMLARI

Havayolu işletmelerinin pazarlama faaliyetlerinin önemli bir parçası olarak sadakat programları uzun yıllardır kullanılmaktadır. Müşteri ilişkilerini geliştirmek, tüketici davranışlarını takip etmek, tüketiciyi güdülemek gibi birçok amaçla kullanılan bu programlar, tüketici tarafından kullanılan kartlar veya kuponlar ile gerçekleştirilmekteydi (Sayman & Bayram, 2019: 1423). Ancak dijitalleşme ile havayolu işletmeleri sadakat programlarında da dijitalleşme sürecini başlatmıştır. Tüketiciler tarafından sahip olunan bir numara veya cep telefonu numarası ile sadakat programları dijital olarak kullanılabilir. Dijital olarak tüketicilerin yaptıkları işlemler takip edilmekte, mil puan biriktirme, promosyonlardan yararlanma gibi hizmetler dijital olarak takip edilebilir. THY'nin Miles & Smiles Programı ve Pegasus'un Bol Puan programı dijitalleşme sürecine uyum sağlayan sadakat programlarına örnek olarak verilebilir.

HAVACILIK BİLGİSAYAR TEKNOLOJİLERİ İŞLETMELERİ

Donanım ile ilgili gelişmelerin paralelinde yapay zekâ, makine öğrenmesi gibi yazılım alanında yaşanan gelişmeler birçok farklı sürecin dijital teknolojiler aracılığı ile yapılabileceğinin anlaşılmasını sağlamıştır. Bu durum iş süreçlerinin sektöre özgü gerçekleşen yazılımlar aracılığı ile dijital uyumun kolaylıkla sağlanabileceği düşüncesini oluşturmuştur. Yazılım konusunda gerekli bilgi donanımına sahip işletmeler, geliştirdikleri dijital uygulamaların iş ve operasyon süreçlerinde verimli olarak kullanılabilmesini sağlayabilmek için, hizmet verecekleri sektörün işlemlerini ve uygulamalarını bilmelidir. Bu sebeple bilişim alanında ve özellikle yazılım sektöründe hizmet üreten işletmeler, dijital ürün ürettikleri sektöre yönelik olarak uzmanlaşmışlardır. Havacılık sektörü de dijitalleşmede öncü sektörlerden biri olduğu için, havacılık sektörüne yönelik projeler üreten birçok bilişim teknolojileri işletmeleri ortaya çıkmıştır. Özellikle bu alanda Ar-Ge faaliyetlerinin de yoğun olması, teknopark bünyesinde yer alan küçük ölçekli havacılık bilgisayar teknolojisi işletmelerinin sayısının da fazla olmasını sağlamaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye'de faaliyet gösteren örnek olarak alınan bazı işletmeler hakkında bilgi verilmiştir.

Bilişim A.Ş., 1985'te Ankara'da kurulmuş olup kendi endüstriyel yazılım ürünleri ile pazarlama ve proje geliştirme doğrultusundaki hizmet sunan bir işletmedir. İnsan Kaynakları Yönetim Sistemi, Kurumsal Kaynak Planlama

Sistemi, Yeni Nesil Bilişim İş Zekâsı Sistemi, Kamu İnsan Kaynakları Yönetim Sistemi, Profesyonel Yalın Üretim Yazılımı, Web Servisi Güvenliği Yazılımı ürünleri ile işletmelere hizmet vermektedir. Ulusal odaklı hizmet sağlayıcı olan bilişim A.Ş., havacılık sektöründe TAV Havalimanları ve Ak Havacılık ve Ulaştırma Hizmetleri A.Ş. işletmesine hizmet sunmaktadır (Bilişim, 2021).

Logo Yazılım, 1984 yılında kurularak yazılım alanında küçük ve büyük ölçekli ulusal, uluslararası birçok işletmeye yazılım çözümleri sunan önemli bir işletmedir. İşletme 2000 yılında halka açılan ilk bilişim şirketi olmuştur ve bugün, Türkiye'nin en büyük halka açık yazılım işletmesidir. Logo yazılım, kurumsal kaynak planlama, müşteri ilişkileri yönetimi, insan kaynakları yönetimi, iş akışı yönetimi, depo yönetimi sistemleri, iş analitiği çözümleri, perakende çözümleri ve e-devlet çözümleri gibi hizmetler sağlamaktadır. 4 farklı ülkede, 7 farklı noktada, 1.200'den fazla çalışan ile hizmet veren işletme, havacılık sektöründe Havaalanı İşletme ve Havacılık Endüstrileri A.Ş.(HEAŞ) işletmesine dijital çözümler sunmaktadır (Logo, 2021).

IFS, Dünya genelinde üretim, dağıtım, servis ve bakım-onarım yapan şirketler için entegre kurumsal iş yazılımları geliştiren bir işletmedir. İşletmenin temel amaçları arasında hizmet verilen şirketlerin dijital dönüşümün avantajlarından faydalanarak kaynaklarını en iyi şekilde kullanabilmesini ve sürdürülebilir başarılar kazanması bulunmaktadır. IFS küresel olarak 30 yılı aşkın süredir edindiği tecrübeler ile havacılık ve savunma sanayi uzmanlığı kazanmıştır. Uzay ve savunma sanayi üretimi, ticari havacılık, savunma, filo ve varlık yönetimi, askeri lojistik, hizmetler ve performans dayalı lojistik alanlarında hizmetler sağlamaktadır (IFS, 2021).

HİTİT BİLGİSAYAR HİZMETLERİ A.Ş.'YE YÖNELİK İNCELEME

Hitit işletmesi, 1994 yılında eski Türk Hava Yolları yöneticileri tarafından kurulmuştur. 2003 yılında Hitit'e ait ilk havayolu bilgisayar teknolojisi çözümü geliştirilerek kullanımına başlanmıştır. Crane FF Loyalty isimli yazılımları 2012 yılında Dünya'da havayolu işletmelerin tarafından en çok tercih edilen yazılım olmuştur. 2015 yılında, dünyanın en iyi 5 yolcu hizmetleri sistemi sağlayıcılarından biri olmuştur (Hitit, 2021a).

Şirketin ilk projesi, en eski havayolu yolcu sadakat sistemlerinden biri olan "Crane FF-Sık Uçan Yolcu" olmuştur. Crane FF, havacılık sektörünün özel ihtiyaçları ve zorlukları göz önünde bulundurularak tasarlandığı için havayolları için önemli çözümler sağlamıştır. Crane FF, havacılık sektörü tarafından ilgi görmüş ve Hitit'i küresel sahneye çıkarmıştır.2012 yılında en yaygın kullanılan havayolu sadakat çözümü haline gelmiştir. Hitit'in 2000 yılında geliştirmeye

başladığı Crane PSS yazılımı, 2003 yılında modern, web tabanlı bir yolcu hizmet sistemi olarak piyasaya sürülmüştür. Son olarak işletme, Crane PSS sistemine rezervasyonlar ve kalkış kontrolünden operasyonlar, planlama, muhasebe, kargo, seyahat mağazacılığına kadar tüm havayolu ekosistemini kapsayan Crane Airline Solution sistemini dahil etmiştir. Hitit, 25 yılı aşkın süredir seyahat endüstrisine havayolu bilgisayar teknolojiler alanında hizmet sunmaya devam etmektedir. Günümüzde işletme, dünyanın en büyük 3 yolcu hizmet sistemi sağlayıcısından biri olmuştur. Tam hizmet sağlayıcılarından, düşük maliyetli taşıyıcılara, bölgesel havayolu işletmelerinden, acentalara kendilerine en uygun bilgisayar teknolojilerini sunmayı hedeflemişlerdir (Hitit, 2021b).

Hitit, dijital dönüşüm sürecinde havayolu işletmelerinin rehberi olmuş bir işletmedir. Hitit tarafından sunulan programların havayolu işletmelerine sağladığı faydalar küresel çapta kabul görmüştür. Böylelikle bayrak taşıyıcılardan, düşük maliyetli taşıyıcılara, bölgesel taşıyıcılardan acentalara kadar birçok işletmenin fayda sağlayacağı dijitalleşme avantajlarından Hitit işletmesi sayesinde yararlanılmıştır (BT, 2019).

Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş. Türkiye'de kurularak faaliyetlerine Türkiye merkezli uluslararası ilişkileri ile bilişim teknolojileri ihracatı yaparak devam etmektedir. İki kadın girişimci tarafından kurularak sağladığı çözümler ile çok kısa sürede Dünya'nın havacılık yazılımları konusunda en büyük üç işletmesinden biri olmuştur. Tüm yazılımlarının fikri mülkiyet haklarının Türkiye'den alınması sebebi ile Hitit, yerli ve milli bir işletmedir. Türkiye'yi bilişim teknolojisi ihracatında uluslararası arenada temsil eden öncü şirket olmuştur (Ünalı, 2019).

Ülkemizde Hitit işletmesi ile en sıkı işbirliği oluşturan havayolu işletmesi Pegasus havayolları olmuştur. Pegasus, yolcu hizmetlerinden, ekip planlamaya, kargodan muhasebeye tüm havayolu bilişim teknolojisi ihtiyacını Hitit tarafından sunulan Crane yazılımlarından karşılamaktadır. Bu sıkı işbirliği 2015 yılında Pegasus Havayollarının Hitit Bilgisayar Hizmetleri'nin yüzde 40'ını 4 milyon 500 bin dolara satın alması ile ortaklığa dönüşmüştür. 4 Nisan 2016'ya kadar 1 milyon 500 bin dolara yüzde 10 hisse daha alarak Pegasus Havayolları Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'nin %50 ortağı olmuştur (Borsatek, 2016). 2021 yılı Temmuz ayında Pegasus Havayolları tarafından KAP'a yapılan açıklama ile %50 sine sahip olunan Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'nin hisselerinin bir kısmının halka arz çalışmalarının başlatıldığı duyurulmuştur. Sermaye Piyasası Kurulunun onayının beklendiği bilinmektedir (KAP, 2021).

Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş. sunduğu başarılı çözümleri, havayolları için sağladığı faydalar, ihracat başarısı gibi birçok konuda ödül almıştır. Aynı

zamanda geliştirdiği teknoloji yazılımları ile çok fazla sayıda başarıya imza atmıştır.2017 yılında Türkiye'nin en hızlı büyüyen teknoloji işletmesi ödülünü almıştır.Aynı ödül işletmeye 2019 ve 2020 yılında tekrar verilmiştir. Bilişim teknolojileri ve ihracat yıldızı alanında birçok ödüle layık görülen firma, 2019 yılında Avrupa'da Yılın En İyi Lider PSS Sağlayıcısı ödülünü almıştır. 2021 yılında Türkiye'nin Lider Seyahat Bilişim Şirketi ünvanı ile onurlandırılmıştır (Hitit, 2021c).

Hitit Bilgisayar Hizmetleri ilk yazılım teknolojisini oluşturmasından sonra küresel ve ulusal havayolu şirketleri, seyahat acentaları ve hizmet sağlayıcılar ile önemli ilişkiler kurmuştur. Müşteri portföyüne eklediği havayollarının yıllık büyümelerinde %25'lik bir fark yaratan Hitit işletmesi, uzun yıllar işbirliklerini devam ettirmekte, her geçen gün yeni işletmeleri portföyüne eklemektedir. 2021 yılı itibari ile HİTİT bilgisayar teknolojileri 80 binden fazla acenta tarafından kullanılarak, 240 havaalanında, yıllık 65 milyondan fazla yolcuya hizmet verilmesini sağlamaktadır. Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'nin portföyünde 60 havayolu işletmesi bulunmaktadır (Hitit, 2021a).

HİTİT BİLGİSAYAR HİZMETLERİ A.Ş.'NİN SUNDUĞU HİZMETLER

Hitit'in sunduğu hizmetler 6 ana kategoride toplanmıştır. Bunlar yolcu servis sistemi, operasyon planlama, muhasebe, mağazacılık, seyahat çözümleri ve kargo'dur.

YOLCU SERVİS SİSTEMİ

Yolcu Servis Sistemi, havayolu işletmelerinin rezervasyon, biletleme, check-in, kalkış kontrol, ağırlık dengesi, yükleme planlama gibi işlemlerinin dijital olarak yapılmasını sağlayan bir dijital yazım uygulamasıdır. Hitit bu dijital yazılımlara Crane PSS adını vermiştir. Faaliyetlerini gerçek ve potansiyel yolcuları ile yürüten, müşteri bağlılığı ve memnuniyeti yaratabilen havayolları için havayolu rezervasyon ve yolcu hizmet sistemi en kritik unsur olarak değerlendirilmektedir. Yenilikçi ve teknolojik rezervasyon ve yolcu hizmet sistemi, havayollarının envanter yönetimi, doğrudan ve dolaylı satış kanalları üzerinden dağıtım, promosyon yönetimi, e-biletleme, çevrimiçi rezervasyon ve daha iyi satış ve çapraz satış için havayolu yan hizmetlerinde kapasitelerini artırmalarına yardımcı olmaktadır. Yolcu servis sistemi, farklı iş süreçlerine göre ayrılmış alt sistemlerden oluşmaktadır.

Crane PSS'nin rezervasyon ve yolcu hizmetleri alt sistemi Crane PAX olarak adlandırılmaktadır. Crane PAX, tam teşekküllü web tabanlı bir havayolu rezervasyon sistemi olarak envanter yönetimi, ücretler, pazarlama araçları, merkezi rezervasyonlar, online ve mobil rezervasyon ve biletleme, acente

dağıtımı ve daha birçok hizmet sunmaktadır. Yolcuların rezervasyon yapmalarını, uçuş rezervasyonlarını yönetmelerini ve mevcut diğer hizmetlerden yararlanmalarını sağlayan web tabanlı bir rezervasyon sistemi olarak internet rezervasyon motoru olan Crane IBE geliştirilmiştir. Havayolu işletmelerinin müşterileri için uçuş rezervasyonlarını, seyahat planı yönetimini, çevrimiçi check-in'i ve daha birçok dijital aracı akıllı telefonlar üzerinden kullanılabilir hale getiren mobil uygulama Crane MA olarak adlandırılmıştır.

Havayolu işletmeleri mevcut koltuklarını tur operatörleri ve doğrudan satış kanalları arasında paylaşımına olanak tanıyan tahsis yönetim sistemine ihtiyaç duymaktadır. Havayollarının envanterlerini farklı tarifeli ve charter uçuşlar, doğrudan ve dolaylı satış kanalları üzerinden dağıtmak için operasyonel ihtiyaçlarını karşılamak üzere Crane ALM tasarlanmıştır.

Bir havayolunun havalimanı check-in sistemi, yolcu bilgi yönetimi, binış kartları basımı, bagaj kabulü, uçağa binme, yük kontrolü ve uçak kontrolleri vb. önemli işlemlerinin dijital olarak kolaylıkla yapılmasını sağlayan Crane DCS sistemi havayolu operasyonlarının kolaylaşmasını ve otomatikleşmesini desteklemektedir. Uçakların verimli ve emniyetli seyahat etmesinin önemli bir bileşeni uçakların ağırlıkların kontrol edilmesidir. Bu sebeple uçağın tartılması, ağırlık ve denge kayıtlarının tutulması ve uçağın uygun şekilde yüklenmesi kritik derece önemlidir. Bu işlemlerin dijital olarak yapılması için Crane WB sistemi oluşturulmuştur. Crane WB, sistemi ACARS üzerinde uçağa bilgi göndermek ve SITATEX üzerinden mesaj göndermek konusunda da dijital destek sağlamaktadır.

Havayolu işletmeleri için, kayıp bagaj süreçleri maliyet yaratan ve müşteri memnuniyetsizliği yaratan süreçlerdir. Bu sebeple havayolları, bagaj sahibine teslim edilene kadar yapılan masrafları takip etmesine olanak tanıyan, hatalı bagajın temel nedenlerini tespit eden ve takip eden bir sisteme ihtiyaç duymuşlardır. Bu sistem Crane BRI adı verilmiştir. Havayolu sadakat yönetimi çözümleri ve sık uçan yolcu programları, havayolu şirketlerinin yeni müşteriler çekmesi ve mevcut müşterileri elde tutması için önemli hale gelmiştir. Bu nedenle havayollarının müşterilerini herhangi bir temas noktasında tanımak, kişiselleştirilmiş teklifler oluşturmak ve sadakat programı üyelerine doğru zamanda doğru mesajlarla ulaşmak için Crane LL tasarlanmıştır (Crane, 2021a).

OPERASYON PLANLAMA

Ekip planlama ve güvenilir operasyon kontrol çözümleri, bir havayolunun başarısı için hayati öneme sahiptir. Değişen seyahat pazarları, ekonomik

koşullar ve katı endüstri düzenlemeleri, havayollarını sürekli operasyon akışı içinde zor durumda bırakabilmektedir. Verimli olarak yapılan operasyonel programlar ile tüm kısıtlar altında daha iyi çizelgeler oluşturularak, mürettebatın moralini yüksek tutarak ve uçak kullanım oranlarını artırarak maliyetleri azaltmak ve geliri en üst düzeye çıkarmak mümkündür. Bu sebeple dijital olarak sunulan çözümler ile listelemeden hem manuel hem de otomatik eşleştirmeye, ekip takibine, program ve kapasite planlamasına, stratejik planlama ve operasyon kontrolüne kadar tüm ekip ve havayolu operasyon yönetimi sağlanabilmektedir. Hitit operasyon planlamalarına yönelik olarak; zaman planlama için Crane SP, Operasyon kontrolü için Crane OCC, mürettebat yönetimi için Crane CREW yazılımlarını geliştirmiştir (Crane, 2021b).

MUHASEBE

Havayolu işletmelerinin yoğun rekabet altında, çeşitli iş modelleri ve ekonomik düzenlemeler çerçevesinde faaliyet göstermektedir. Bu sebeple havayolu işletmelerinin gelir yönetimi sağlaması ve maliyetlerini kontrol altında tutabilmesi önem arz etmektedir. Havacılık muhasebesi, bir havayolunun finansal performansını kontrol etmek ve değerlendirmek, gelir akışlarını takip etmek, daha uygun maliyetli operasyonlar için beklenmeyen maliyetleri tahmin etmek içindir. Hitit tarafından geliştirilen havacılık muhasebesi yazılımı ile giderlerin küçük bir optimizasyonu bile gelir artışı üzerinde önemli bir etki yaratabilmektedir. Daha hızlı ve daha güvenilir veri akışı sağlayan Crane Accounting sistemi, gelir muhasebesi için Crane RA, Maliyet muhasebesi için Crane CA, İş Performansı endeksi için ise Crane BPI yazılımlarını sunmaktadır (Crane, 2021c).

MAĞAZACILIK

Dijital dönüşümün havayolu işletmeleri açısından yarattığı en büyük değişimlerden biri bilet satış kanallarında yaşanan değişikliklerdir. Havayollarının müşterilerinin çoğu artık doğrudan satış kanallarını kullanmaktadır. Özetle havayolu işletmesinin web sitesi veya çeşitli web platformlarından bilet ve ek hizmet tedarik etmeye başlamışlardır. Ek hizmetler doğrudan havayolu işletmesinin kendi satış kanallarından satılarak direkt ek gelir oluşturmaktadır. Bu durumun uzun süre bu şekilde süreceği düşünülmektedir. Bu sebeple havayolu işletmelerinin doğrudan satış kanalında hizmet çeşitliliği ve sunumu yan gelir açısından oldukça önemlidir. Bu konuya yönelik Hitit, havayollarının tur Operatörü ve ortakları için havayolunun rekabetçi uçuşlarıyla birlikte eğlence, iş seyahati paketleri oluşturmak ve satmak için bir seyahat pazarı platformu olan Crane TM (Airline Travel Marketplace)'i kurmuştur (Crane, 2021d).

SEYAHAT ÇÖZÜMLERİ

Özellikle bilinçli tüketiciler, havayolu işletmelerinden direkt bilet almak yerine, en uygun bilet, otel, şehir içi ulaşım gibi durumları en ucuza sunan işletmeleri aramak için interneti kullanmaktadır. Bu kapsamda havayolu işletmeleri ürünlerini, web sitesi, mobil veya e-posta kampanyaları gibi birden çok kanalda yönetmeli, teklif ve promosyonlarını sürekli olarak güncellemelidir. Hitit yazılım, gelirleri, yük faktörlerini, müşteri memnuniyetini ve sadakatini en üst düzeye çıkarmak için sadece tur operatörleri ve seyahat acenteleri için değil, zincir ve bireysel oteller, araba kiralama işletmeleri, ulaşım, aktivite, demiryolu ve cruise işletmelerini kapsayan bir platform yaratmıştır. Crane OTA (Online Travel Agency) kredi kartı ve sadakat programları ile doğrudan veya çevrimiçi olarak satmak kolaylığı ile havayollarına hizmet sağlamaktadır (Crane, 2021e).

KARGO

Teknolojik gelişmeler havayolu yolcu taşımacılığını etkilediği kadar, hava kargo taşımacılığını da etkilemiştir. Özellikle tüketici davranışlarındaki değişiklikler, hava kargo taşımacılığında daha fazla hissedilmiştir. Müşteriler, malları için daha hızlı, daha esnek ve şeffaf bir hizmet beklemektedir. Hava kargo taşımacılığı, karmaşık bir tedarik zincirinin birçok üyesi arasında çoklu veri alışverişi yapar. Bu konuda dijital çözümler sağlayan Crane Cargo, kabulden nihai teslimata kadar hava kargo taşımacılığının tüm yönlerini kapsayan bir hizmet sunmaktadır. Crane kargo, rezervasyon ve kargo hizmetlerini kapsayan Crane CGO ile yurtiçi kargo hizmetlerini kapsayan Crane DOM yazılımlarından oluşmaktadır (Crane, 2021f).

ARAŞTIRMA

Çalışmanın amacı Hitit Bilgisayar A.Ş.'nin yazılım hizmetlerinin ve bilişim uygulamalarının derinlemesine incelenmesidir. Günümüzde yerli ve millileşme yönünde atılan adımlar hem devlet hem de halk tarafından desteklenmektedir. Bu sebeple yerli ve milli bir işletme olan Hitit Bilgisayar Hizmetleri hakkında çıkan haberlere yönelik yapılan bir içerik analizi ile İşletmenin bilinirliği, faaliyetleri ve havacılık sektöründeki konumunu belirlemek amaçlanmaktadır.

2015-2020 yılları arasında Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'ye yönelik, "Hitit Bilgisayar Hizmetleri", "Hitit Yazılım", "Hitit Havayolu Yazılımları" anahtar kelimeleri ile Google arama motorunda yapılan aramalar ile Hitit işletmesinin web sitesinde yer alan toplam 110 habere 5 temel kategoride her kategori içinde iki alt kategori oluşturularak dijitalleşme, dijital dönüşüm, yerli, milli, ihracat, halka arz, ödül, başarı, uluslararası havayolu, acenta, kategorilerinde içerik analizi yapılmıştır. Belirtilen kategoriler işletmeye yönelik yapılan

incelemede işletme ile ilgili dikkat çekici noktaların derlenmesi ile oluşturulmuştur. Eski tarihli haberlerin web sitelerinden kaldırılması sebebi ile veri kısıtı ile karşılaşmış, az sayıda habere ulaşılmıştır.

BULGULAR

Değerlendirilen haberlerin, belirtilen kategorilere göre ayrıştırılması sonucu ortaya çıkan bulgular Tablo 1’de yer almaktadır.

Değerlendirilen 110 haberin analizinde Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.’nin dijitalleşme ve dijital dönüşüme yönelik katkılarından bahsedilen haber sayısına bakıldığında, “Dijitalleşme” kapsamında 11 habere ulaşılmıştır. Bu da toplam haberin %10’una denk gelmektedir. “Dijital dönüşüm” kapsamında 15 haberle, %13,6’lık bir oran bulunmaktadır. Bu durum Hitit işletmesine yönelik dijital dönüşümde etkili olduğu yönünde haberlerin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.’nin kurucuları ve hisse sahiplerinin Türklerden oluşması, Türkiye’de kurularak, merkezi faaliyetlerini ülkemizden yürütmesi, ürettiği bilişim sistemlerinin ülkemiz kurum ve kuruluşları tarafından lisanslandırılması sebebi ile yerli ve milli bir işletme ve faaliyetle gerçekleştiği belirtilmektedir. Bu kapsamda haberler, “Yerli” kategorisinde değerlendirildiğinde 16 haberle, %14,5, “Milli” kategorisinde değerlendirildiğinde 2 haberle %1,8’lik bir oran görülmüştür. “Yerli” kelimesi ülkemizde fiziki olarak üretilen mal ve hizmet için kullanılırken, “Milli” kelimesi ise Türkiye’yi temsil eden anlamında kullanılmıştır. Bu kapsamda Hitit işletmesi için hem yerli hem de milli kelimelerini kullanmak doğru iken, haberler daha çok yerliliğine vurgu yapmışlardır.

Tablo 1. İçerik Analizi Bulgular

	Kategori	Frekans	Yüzde	Yüzde
1	<i>Dijitalleşme</i>	11	10	23,6
	<i>Dijital Dönüşüm</i>	15	13,6	
2	<i>Yerli</i>	16	14,5	16,3
	<i>Milli</i>	2	1,8	
3	<i>İhracat</i>	12	10,9	20,9
	<i>Halka Arz</i>	11	10	
4	<i>Ödül</i>	21	19	47,2
	<i>Başarı</i>	31	28,1	
5	<i>Uluslararası Havayolu</i>	41	37,2	42,7
	<i>Acenta</i>	6	5,4	

Hitit işletmesinin ihracatı ekonomik açıdan önem arz etmekte, özellikle bilişim teknolojisi açısından ülkemizin lider işletmelerinden biri olması basında bazı haberlerde yer tutmuştur. “İhracat” kategorisinde incelenen haberlerden 12’si buna yönelik çıkararak %10,9’luk bir oran olarak gözlemlenmiştir. 2021 yılında Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.’nin %50’sine sahip olan Pegasus Havayolu İşletmesi tarafından işletmenin halka arz olacağı yönünde Kamu Aydınlatma Platformuna bilgi verilmiştir. Bunun üstüne 11 haberde Hitit işletmesinin halka arzı ile ilgili haberler yer almıştır. İncelenen haberler içindeki oranı %10’dur. Ancak bu haberlerin tamamı Temmuz 2021’den itibaren çıkmıştır.

Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş. bilişim sektörünün lider ihracat firmalarından olması, Uluslararası faaliyetlerindeki başarıları, kadın girişimciler tarafından kurulun ve üst yönetiminin başarılı kadın yöneticilerinin olması gibi sebepler çok sayıda ödül almaktadır. Bu ödüllerin basındaki karşılığı rakamlarla da görülmektedir. Ödül kategorisinde 21 haber bulunmaktadır, bu haberlerin toplam haberler içindeki oranı yüzde 19’dur. İşletmenin başarılarından bahsedilen haberler “başarı” kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu kategoride 31 haber bulunmuş, oranı ise %28,1 olarak gerçekleşmiştir.

Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.’nin gerçekleştirmiş olduğu işbirlikleri, basında oldukça fazla yer bulmaktadır. Yapılan işbirlikleri “Uluslararası Havayolları” kategorisinde değerlendirildiğinde 41 haber %37,2, “Acenta” işletmeleri ile ilgili kategoride 6 haber %5,4 oranında bulunmaktadır. Bu durum, en fazla Hitit işletmesinin müşteri portföyüne katarak işbirliği gerçekleştirmiş olduğu havayollarına yönelik haberlerin basında yer aldığı sonucunu göstermektedir.

Değerlendirme 5 ana kategoride gerçekleştiğinde, basında en çok yer alan haberlerin %47,2 “Ödül-Başarı” kategorisinde olduğu, onu %42,7 ile “Uluslararası Havayolu-Acenta” kategorisinin takip ettiği, “Yerli-Milli” kategorisinin ise %16,3 ile en az vurgulanan konu olduğu ortaya çıkmıştır.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Havayolu işletmelerinin dijitalleşme sürecine girmelerinde küreselleşme, ticarileşme, Endüstri 4.0 ve rekabet kavramları önemli yer tutmaktadır. Uluslararası alanda faaliyet gösteren havayolu işletmeleri değişen küresel şartlara ayak uydurmak zorunda kalmıştır. Artan rekabet, havayolu işletmelerini yeni pazarlama araçları aramak, müşterilerinin davranışlarını anlamak, hedef kitle belirlemek ve farklı deneyimler sunmak zorunda bırakmıştır. Bu kapsamda havayolu işletmeleri gelişen teknoloji ile bilgisayar yazılımlarını pazarlama aracı olarak kullanmaya başlamışlardır. Birçok havayolu işletmesi sadakat programları aracılığı ile hedef kitlesini belirlemiş, müşterilerinin davranışlarını izleyebilmiştir. Havayolu işletmelerinin rezervasyon sistemlerinde ve havaalanı

hizmetlerinde bilgisayar teknolojilerini kullanmaları yolcu memnuniyetinde, seyahat tercihlerinde, havayolu taşımacılığının kullanımında artış yaşanmasına sebep olurken, havayolu işletmelerinin maliyetlerinin düşmesi, zaman yönetiminin etkin sağlanması avantajlarını sağlamıştır. Bu doğrultuda havayolu işletmelerinin büyük çoğunluğu farklı bilgisayar teknolojilerinin desteği ile dijitalleşmeye büyük oranda adapte olurken, yolcuların dijitalleşmeye uyumlarında, özellikle dijital göçmen olarak adlandırılan internet teknolojisi ile geç tanışan yaş grubunun uyumunda problem yaşandığı bilinmektedir. Ancak yaşanan Covid-19 pandemisi sebebi ile teması ve etkileşimi azaltmaya yönelik alınan tedbirler dijitalleşmeye uyum sürecini hızlandırarak, önemli bir eşğin atlanmasını sağlamıştır.

Ülkemizde yerli sermaye ile kurularak, faaliyetlerine tamamen yerli olarak devam eden HİTİT Bilgisayar Hizmetleri A.Ş. Dünya'da birçok havayolu işletmesine sağladığı bilgisayar teknolojileri ile dijitalleşme sürecinde önemli ve etkin bir rol oynamıştır. Yolcu hizmet sistemi, operasyon planlaması, seyahat çözümleri, kargo, muhasebe, ticaret başlıkları altında birçok program ile havayolu işletmelerinin en kritik süreçlerinde rol oynamaktadır.

HİTİT, havayolu işletmelerinin talepleri doğrultusunda sunduğu seyahat çözümleri ve geliştirdiği bilişim teknolojileri ile dijitalleşmede çok başarılı hizmetler vermektedir. Dünya'da bir Türk işletmesinin 60 havayolu, 240 havaalanı, 80 bin acentenin dijitalleşmesinin merkezinde bulunması, ülkemizin dijitalleşmeye etkisini ispatlamaktadır. HİTİT işletmesinin geliştirdiği bilgisayar teknolojileri pazarlama süreçlerine önemli katkılar sunarak, hava taşımacılığı geleneğinin yeni vizyon kazanmasında etkili olmuştur. Modern süreçler ve kullanılan teknolojiler havayollarının geleceğe hazır olmasını sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Bilişim. (2021). Havacılık Sektörü Yazılım Çözümleri. <https://bilisim.com.tr/tr/sector/havacilik> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Bleicher, J., & Stanley, H. (2016). Digitization As A Catalyst for Business Model Innovation A Three-Step Approach to Facilitating Economic Success. *Journal of Business Management*, (12).
- Borsatek. (2016). Pegasus Bilişim şirketi aldı. <https://www.borsatek.com/pegasus-bilisim-sirketi-aldi-5590h.htm> (27/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- BT. (2019). 2018'in Gündemi Havacılık Yazılımları Oldu. <https://www.bthaber.com/hititin-2018-gundemi-havacilik-yazilimlari-oldu/> . (27/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Chang, S., Wang, Z., Wang, Y., Tang, J., & Jiang, X. (2019, August). Enabling technologies and platforms to aid digitalization of commercial aviation support, maintenance and health management. In 2019 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE) (pp. 926-932). IEEE.

- Crane. (2021a). Havayolu Bt Çözümleri ve Hizmetleri. <https://crane.aero/solutions-services#passenger-service-system> (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Crane. (2021b). Operasyon Planlama. <https://crane.aero/solutions-services/operations-planning> . (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Crane. (2021c). Muhasebe. <https://crane.aero/solutions-services/accounting>. (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Crane. (2021d). Mağazacılık. <https://crane.aero/solutions-services/merchandising>. (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Crane. (2021e). Seyahat Çözümleri. <https://crane.aero/solutions-services/travel-solutions>. (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Crane. (2021f). Kargo. <https://crane.aero/solutions-services/cargo>. (25/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- DeVries, P. D. (2008). The state of RFID for effective baggage tracking in the airline industry. *International Journal of Mobile Communications*, 6(2), 151-164.
- E. Stolterman and A. C. Fors. "Information Technology and the Good Life," in *Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice*, B. Kaplan et al. (eds), London, UK: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Fichman R. G., Dos Santos B. L., Zheng Z. (2014), Digital Innovation As A Fundamental And Powerful Concept In The Information Systems Curriculum , *MIS Quarterly* Vol. 38 No. 2, pp. 329-353/June 2014
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* (pp. 128-142). Springer, Cham.
- Hitit. (2021a). Tarihimiz. <https://hitit.com/about#our-history> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Hitit. (2021b). Mirastan Teknolojiye. <https://hitit.com/about#from-heritage-to-technology> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Hitit. (2021c). Haberler. <https://hitit.com/news> . (27/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- IATA. (2021). Advancing Gender Balance by 2025. <https://www.iata.org/en/policy/future-of-airlines-2035/25-by-2025/> (20/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- IFS. (2021). Savunma & Havaçılık Endüstrilerine Özel. <https://www.ifs.com/tr/industries/aerospace-and-defense/> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Innova. (2015). Havaçılıkta Yeni Dönem: Dijital Kabin Yönetimi. <https://www.innova.com.tr/tr/blog/dijital-donusum-blog/havacilikta-yeni-donem-dijital-kabin-yonetimi> . (23/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Jarach, D. (2002). The digitalisation of market relationships in the airline business: the impact and prospects of e-business. *Journal of Air Transport Management*, 8(2), 115-120.

- KAP. (2021). Kamu Aydınlatma Platformu Özel Bildirim. <https://www.kap.org.tr/tr/Bildirim/945987> . (27/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242.
- Logo. (2021). Havacılık Çözümleri. <https://www.logo.com.tr/sectorler/havacilik-cozumleri> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Marangoz, M., & Özen, E. K. (2021) Covid-19 Pandemi Sürecinin Farklı Alanlarda Dijitalleşmeye Etkileri: Kavramsal Bir Değerlendirme. *Hitit Ekonomi ve Politika Dergisi*, 1:1,54-68
- Nergiz, A. (2012). Yeni Nesil Seyahat Planlama Aracı. <https://www.havayolu101.com/2012/04/03/rome2rio-yeni-nesil-seyahat-planlama-araci/> . (23/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Özbek, T. (2018). 10 Dakikada Yerli Uçak Temizleyicisi. <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/yazarlar/tolga-ozbek/10-dakikada-yerli-ucak-temizleyicisi-40984519> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Parida, V. (2018). Digitalization. Adressing Societal Challanges. Grafisk produktion. Sweden.
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International journal of information systems and project management*, 5(1), 63-77.
- Poulaki I., Katsoni V. (2020) Current Trends in Air Services Distribution Channel Strategy: Evolution Through Digital Transformation. In: Katsoni V., Spyriadis T. (eds) *Cultural and Tourism Innovation in the Digital Era*. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. (257-267).
- Rohen, M., (2015), "IoT Driving Digital Transformation – Impact on Economy and Society", River Publisher Series in Communications, ISBN: 978-87-93609-10-5
- Savıcı Polat, A. (2020) Havacılık Sektöründe Dijital Dönüşüm. Hava Taşımacılığı Yönetiminin Temelleri, Nobel Akademi Yayınevi
- Sayman, E., & Bayram, M. (2019). Havayolu İşletmeleri Sadakat Programlarının Değerlendirilmesi. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(4), 1421-1432.
- Taşkıran, İ. (2018). THY'ye Uçak İçi Eğlence Sistemi Uygulaması. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/thye-ucak-ici-eglence-sistemi-uygulamasi/1188826> . (24/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- THY. (2021). Check-in. <https://www.turkishairlines.com/tr-int/bilgi-edin/check-in/> . (23/09/2021 tarihinde erişilmiştir).
- Türker, M. (2018). Dijitalleşme Sürecinde Küresel Muhasebe Mesleğinin Yeniden Şekillenmesine Bakış. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 20(1), 202-235. doi:10.31460/mbdd.383319
- Ünalı, A. (2019). Hitit Bilgisayar Hava Kargo Sektöründeki İlk Yerli Yazılım İhracatını Gerçekleştirdi. <https://medyascope.tv/2019/10/11/netizen-178-hitit-bilgisayar-hava-kargo-sektorundeki-ilk-yerli-yazilim-ihracatini-gerceklestirdi/> . (27/09/2021 tarihinde erişilmiştir).

PERFORMANCE ASESMENT OF A MICROJET ENGINE BY USING ADVANCED EXERGY ANALYSIS

Cem Tahsin YUCER

INTRODUCTION

Thermodynamic systems use fossil energy resources like petroleum products. Effective use of these products can be provided by the thermodynamics laws. The first law of thermodynamics show that the energy obtained from the resources can not be destroyed. It is converted to other forms of energy.

The usefulness or quality of energy is defined as exergy. Exergy means the maximum work potential from a thermodynamic system. Unlike energy, exergy can be destroyed. When trying to improve systems, one may use exergy as a tool for optimization. Some of the exergy destructions are avoidable and can be used to have a more efficient system. Efficient use in a system minimizes the unavoidable exergy losses.

Simply the exergy analysis investigates each component of the system and exergy destructions for each component were investigated separately. However, the advanced exergy analysis assesses the interrelations between the system components. It investigates not only the exergy destructions within a component but also the external effects from other components. To understand the reason for exergy destructions and to obtain the improvement potentials of each component, classification of exergy destructions is required. In advanced analysis, exergy destruction consists of unavoidable, avoidable, endogenous and exogenous parts.

Tsatsaronis and Park paid attention on the advanced exergy analysis when evaluating the thermodynamic performance of thermal systems. Avoidable and unavoidable exergy destructions were studied. Cziesla et al. drew attention to the low ratios of avoidable exergy destructions. This is because of the physical, technological and economical constraints. The assumptions and calculations for avoidable and unavoidable exergy destructions were discussed. Bahiraei et al. explained that the best flow and lower pressure loss in a heat exchanger were achieved by the minimization of entropy generation. Thus avoidable and unavoidable exergy destructions were studied to show considerable potential for thermodynamic optimization. Wei et al. studied avoidable and unavoidable exergy destructions with investment costs to obtain potentials in distillation applications.

Enhanced information, methodology, explanations about advanced exergy analysis were presented in [Solange et al., Petrakopoulou]. Morosuk and Tsatsaronis explained the advantages of splitting the exergy destruction into endogenous, exogenous, unavoidable and avoidable parts. The paper presented the methodology for analyzing the open gas turbine systems. Morosuk and Tsatsaronis studied two novel gas turbine based concepts for combining LNG regasification process with electricity generation. By calculating the exergy destruction parts, the advantages of advanced analysis on conventional analysis were demonstrated. Şöhret et al. analyzed an aircraft gas turbine using advanced exergy analysis for the first time. Performance and inefficiencies within and among the components were explained. Balli carried out advanced analysis on turboprop and turbofan engines. Yuksel et al. compared hydrogen and kerosene use for turbo jet engines by advanced exergy analysis. Balli et al. used advanced exergy analysis to understand the performance of a microjet engine at various modes.

In this article, at first the conventional exergy analysis was implemented. Then by making several assumptions for theoretical conditions of the components, advanced exergy analysis was performed. The jet engine components were studied to obtain exergy flow rates, exergy efficiencies and exergy destructions. After implementing advanced analysis, avoidable, unavoidable, endogenous and exogenous exergy destructions were obtained. Performance assessment was made according to these findings.

SYSTEM DESCRIPTION

Jet engines are studied according to an open cycle named Brayton. In this study, a small scale gas turbine system was investigated. In Figure 1, the gas generator consists of compressor, combustion chamber and turbine.

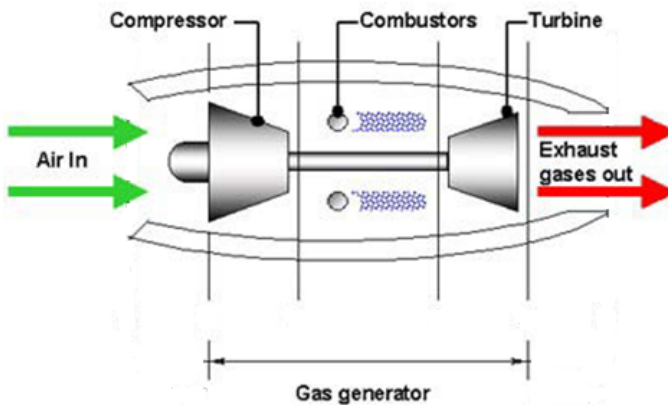


Figure 1. Gas generator system.

The gas generator operates as follows,

- The ambient air is compressed to a higher pressure in the compressor (C) (1-2),
- Fuel and air are mixed and burned in the combustion chamber (CC) to increase the enthalpy of the working fluid (2-3-4),
- In the turbine (T), expansion occurs to obtain the work (4-5).

In Figure 2, the inlet and outlet flows for each component of the jet engine are presented.

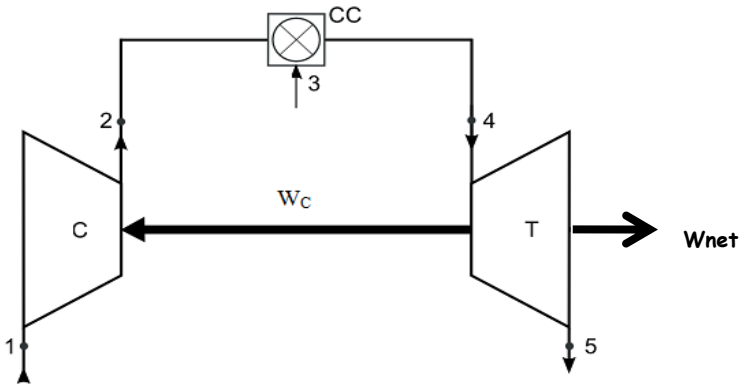


Figure 2. Energy flows in the jet engine.

Some technical data for the jet engine are,

- The upper limit of compressibility ratio for the jet engine module is 2.1.
- It comprises a single stage centrifugal compressor, a single stage axial turbine and a reverse flow annular combustion chamber.
- It is fully throttleable from a minimum speed of 35000 rpm to a maximum speed of 120000 rpm.
- It contains a data acquisition system for monitoring the temperature, pressure, flow rates and thrust.

ANALYSIS

EXERGY ANALYSIS

When obtaining the exergy destructions, the flow exergies are defined to construct the balance equations. The energy rate of a flow cannot be transformed into work without irreversibilities. Exergy quantifies the usefulness or quality of energy and material flows through a system. The exergy rate of a flow is formulated as follows,

$$\dot{E}_i = \dot{m}_i \cdot [c_{p,i} \cdot (T_i - T_o) - T_o \cdot (s_i - s_o)] \quad (1)$$

In the above equation \dot{m}_i , $c_{p,i}$, T_i , T_o , s_i and s_o denote mass flow rate of flow i, specific heat of flow i, temperature of flow i, ambient temperature, entropy of flow i and ambient entropy, respectively. Exergy destruction rate for each component is calculated by

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{F,k} - \dot{E}_{P,k} \quad (2)$$

Here the difference between the fuel exergy and product exergy rates is defined as the exergy destruction rate within a component k. The exergy efficiency for a component can be calculated as follows

$$\psi_k = \frac{\dot{E}_{P,k}}{\dot{E}_{F,k}} \quad (3)$$

To compare dissimilar components, the exergy destruction ratio is defined. It expresses the ratio between the exergy destruction and the fuel exergy for each component.

$$\gamma_{D,k} = \frac{\dot{E}_{D,k}}{\dot{E}_{F,k}} \quad (4)$$

The exergy equations used for the jet engine components are shown in Table 1.

Table 1. Exergy equations for the jet engine components.

Component	Equations
Compressor (C)	$\dot{E}_1 = 0$ $\dot{W}_C = \dot{E}_2 + \dot{E}_{D,C}$
Combustion chamber (CC)	$\dot{E}_2 + \dot{E}_3 = \dot{E}_4 + \dot{E}_{D,CC}$
Turbine (T)	$\dot{E}_4 = \dot{E}_5 + \dot{W}_T + \dot{E}_{D,T}$ $\dot{W}_{Net} = \dot{W}_T - \dot{W}_C$

- Compressor (C)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_a \quad (5)$$

$$W_C = \dot{m}_a \cdot (c_{p,2} \cdot T_2 - c_{p,1} \cdot T_1) \quad (6)$$

Here \dot{m}_a and W_C are air mass flow rate and work rate for the compressor. The compressor is assumed as adiabatic.

- Combustion chamber (CC)

$$\dot{E}_3 = \dot{m}_f \cdot \varphi \cdot LHV \quad (7)$$

$$\dot{m}_a + \dot{m}_f = \dot{m}_g \quad (8)$$

\dot{m}_f , φ , LHV and \dot{m}_g are fuel mass flow rate, fuel exergy factor, lower heating value of fuel and combustion gas mass flow rate.

- Turbine (T)

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_g \quad (9)$$

$$W_T = \dot{m}_g \cdot (c_{p,4} \cdot T_4 - c_{p,5} \cdot T_5) \quad (10)$$

W_T is the work rate of the turbine. The turbine is assumed to be adiabatic. W_{net} is defined as the net work rate used for hydraulic system or other equipments in the aircraft.

ADVANCED EXERGY ANALYSIS

Exergy destruction in a system is the key element to focus. It shows the inefficiencies in the system. Because of the technical limitations, some part of the exergy destruction in a component may be unavoidable and the other part of it is due to the exergy destructions occurred in other components of the jet

engine. Sometimes it can be worthwhile to improve the other components than the component with the maximum exergy destruction.

In the advanced analysis, the exergy destruction consists of unavoidable and avoidable parts and also the endogenous and exogenous parts. Unavoidable exergy destruction always exists as the component continues to operate in the system. According to the technological limitations like conformity of use and manufacturing techniques, this part can not be reduced too much. Avoidable exergy destruction can be reduced by making improvements in the performance of the components and the overall system. The real exergy destruction is the sum of the avoidable and unavoidable exergy destructions.

$$\dot{E}_{D,k}^{real} = \dot{E}_{D,k}^{AV} + \dot{E}_{D,k}^{UN} \quad (11)$$

Upper limits for the improvement are determined and then defined for the jet engine components. To determine the unavoidable exergy destruction, ratio of exergy destruction is used. The exergy destruction ratio and product exergy are used to obtain the unavoidable exergy destruction rate.

$$\dot{E}_{D,k}^{UN} = \dot{E}_{P,k}^{real} \left(\frac{\dot{E}_{D,k}}{\dot{E}_{P,k}} \right)^{UN} \quad (12)$$

Endogenous exergy destruction for a system component is calculated by assuming that the other components operate ideally while that component operates with irreversibilities in its current efficiency. Exogenous exergy destruction, represents the irreversibilities that occur in the other components. The real exergy destruction is the sum of the endogenous and exogenous exergy destructions.

$$\dot{E}_{D,k}^{real} = \dot{E}_{D,k}^{EN} + \dot{E}_{D,k}^{EX} \quad (13)$$

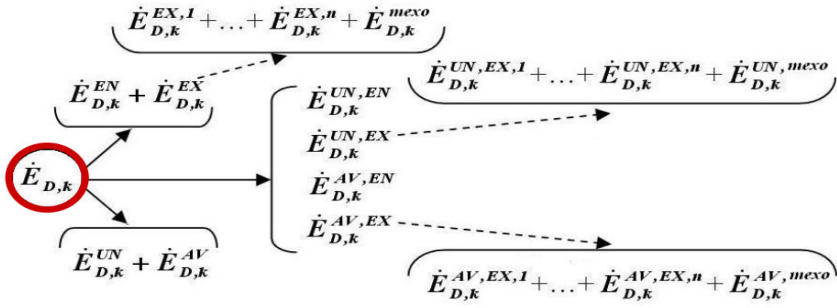


Figure 3. Exergy destruction rate classification.

In Figure 3, it can be seen that unavoidable exergy destruction consists of endogenous and exogenous parts. Unavoidable exogenous part also contains the exergy destructions caused by each of the system components. Similarly the avoidable exogenous exergy destruction contains the exergy destructions caused by each of the system components. Unavoidable endogenous exergy destruction,

$$\dot{E}_{D,k}^{UN,EN} = \dot{E}_{P,k}^{EN} \left(\frac{\dot{E}_{D,k}}{\dot{E}_{P,k}} \right)^{UN} \quad (14)$$

and unavoidable exogenous exergy destructions within each component

$$\dot{E}_{D,k}^{UN,EX} = \dot{E}_{D,k}^{UN} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EN} \quad (15)$$

are calculated as above equations. Avoidable endogenous and exogenous destructions can be calculated by

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,EN} = \dot{E}_{D,k}^{EN} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EN} \quad (16)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,EX} = \dot{E}_{D,k}^{EX} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EX} \quad (17)$$

In the advanced exergy analysis, the exergy destruction equations are to be constructed to carry out the study. They are presented in Table 2.

Table 2. Exergy destruction equations for the jet engine components.

Component	Equations
Compressor	$\dot{E}_{D,C} = \dot{W}_C - (\dot{E}_2 - \dot{E}_1)$
Combustion chamber	$\dot{E}_{D,CC} = \dot{E}_3 - (\dot{E}_4 - \dot{E}_2)$
Turbine	$\dot{E}_{D,T} = (\dot{E}_4 - \dot{E}_5) - \dot{W}_T$

EXPERIMENTAL STUDY

It is assumed that the microjet engine was operating in a steady-state. The working fluid was accepted as an ideal gas. Kerosene was used as fuel in the combustion chamber. The ambient temperature and the pressure were measured to be 288.15 K and 1.02 bar. The performance of the jet engine was studied by using the following data in Table 3.

Table 3. Experimental data for the jet engine.

Type of Data	Data
Temperature of Compressor Outlet (K)	339.15
Temperature of Combustion Chamber (K)	963.15
Temperature of Turbine Outlet (K)	889.15
Pressure of Compressor Outlet (kPa)	102
Air mass flow rate (kg/s)	0.263
Fuel mass flow rate (kg/s)	0.003
Turbine speed (rpm)	80000

In the advanced analysis, for the theoretical operating conditions of the jet engine, some assumptions are made. These are given in Table 4.

Table 4. Assumptions made for the theoretical operating conditions of the jet engine.
 (Note: η , P , superscripts T and R , \dot{m}_a and \dot{m}_f stand for isentropic efficiency, pressure, theoretical, real, air flow rate and fuel flow rate)

Component	Equations
Compressor	$\dot{E}_{D,C}^T = 0$ $\eta_C^T = 1$
Combustion chamber	$P_4 = P_2$ $4T = 4R$ $\dot{E}_{D,CC}^T = 0$ $\frac{\dot{m}_a^T}{\dot{m}_f^T} = \frac{\dot{m}_a^R}{\dot{m}_f^R}$
Turbine	$\dot{E}_{D,T}^T = 0$ $\eta_T^T = 1$ $\dot{W}_{Net} = const.$

To take the compressor in theoretical conditions, the compressor isentropic efficiency is used as 100%. Thus the exergy destruction is equal to zero. For the theoretical conditions of the combustion chamber, the pressure of the compressor outlet and the pressure of the turbine inlet are assumed as equal. At the turbine inlet, the theoretical and real conditions are assumed as the same. The combustion chamber exergy destruction is equal to zero. The ratios between the mass flow rates of air and fuel for the real and theoretical conditions are assumed to be same. In the gas turbine, exergy destruction is equal to zero and thus the isentropic efficiency is used as 100%. The difference between the work rates of turbine and compressor is assumed as constant.

To calculate unavoidable exergy destructions in jet engine components, isentropic efficiencies of compressor and turbine were increased and the

combustion chamber temperature is assumed close to the max operating temperature.

To calculate endogenous exergy destructions for a component, the selected component is assumed as irreversible. In other words, it is assumed as operating in real conditions. The other components are assumed as operating in theoretical conditions.

RESULTS AND DISCUSSION

In the conventional exergy analysis, the jet engine components were studied by using product exergy and fuel exergy relations. The minimum fuel exergy was calculated for the compressor as 13.455 kW. The maximum fuel exergy and maximum exergy destructions did all belong to combustion chamber as 135.608 kW and 40.275 kW, respectively. The minimum exergy destruction took place in the gas turbine. The exergetic findings were presented in Table 5.

Table 5. Product and fuel exergy rates calculated for the jet engine components.

	Product Exergy (kW)	Fuel Exergy (kW)	Exergy Destruction (kW)
C	9.300	13.455	4.156
CC	95.333	135.608	40.275
T	21.959	24.622	2.663

According to the Table 5, it seems that combustion chamber is to be studied because of the highest exergy destruction. In the advanced exergy analysis, the effects of other components will be revealed. The exergy efficiencies calculated by using exergy analysis are presented in Table 6.

Table 6. Exergy efficiencies calculated for the jet engine components.

	Exergy efficiency (%)	Exergy destruction ratio (-)
C	69.1	0.309
CC	70.3	0.297
T	89.18	0.1082

According to the exergy efficiencies, the minimum value belongs to the compressor. The most efficient component seems to be the gas turbine. By looking at the exergy destruction ratios, the most inefficient component is the compressor and the second one is the combustion chamber.

Advanced exergy analysis was applied to split exergy destructions into four parts namely, avoidable, unavoidable, endogenous and exogenous. The maximum percentage of unavoidable exergy destruction was observed in the compressor as 75%. Only 25% of the exergy destruction was avoidable. On the contrary, the maximum percentage of avoidable exergy destruction did belong to combustion chamber. It was found to be 85.5%. In the combustion chamber, most of the exergy destruction occurred because of the other components as 54%. That was 65.8% for the compressor. The compressor is the most externally affected component in the jet engine. Only 34.2% of the exergy destruction is endogenous. For the gas turbine, most of the exergy destruction was self originated as 54.3%. The calculated advanced exergy analysis findings were written in Table 7.

Table 7. The calculated advanced exergy analysis results.

	Exergy Destruction (kW)	Endogenous Exergy Destruction (kW)	Exogenous Exergy Destruction (kW)	Unavoidable Exergy Destruction (kW)	Avoidable Exergy Destruction (kW)
C	4.156	1.420	2.736	3.124	1.032
CC	40.275	18.375	21.900	5.848	34.427
T	2.663	1.446	1.217	1.045	1.618

Table 8. The calculated exergy destruction results.

	Unavoidable Endogenous Exergy Destruction (kW)	Unavoidable Exogenous Exergy Destruction (kW)	Avoidable Endogenous Exergy Destruction (kW)	Avoidable Exogenous Exergy Destruction (kW)
C	1.067	2.002	0.353	0.734
CC	2.667	3.181	15.708	18.719
T	0.5	0.706	0.946	0.511

According to the findings in Table 8, the maximum exergy destruction in the compressor caused by other components and it is unavoidable. For the combustion chamber, the maximum exergy destruction was occurred because of other components and it was avoidable. In the turbine, the maximum exergy destruction took place due to the turbine itself and it was avoidable. These

results showed that the compressor and the combustion chamber inefficiencies were mostly caused by other components. However the turbine can be improved mostly by avoiding the exergy destructions occurred in itself.

CONCLUSION

In this study, the jet engine components were analyzed by using both conventional and advanced exergy analyses. Avoidable, unavoidable, endogenous and exogenous related exergy destructions were used to understand the performances of the jet engine components. The remarkable findings were listed as follows,

By evaluating the exergy analysis results, the maximum exergy destruction was determined in the combustion chamber. It was calculated as 40.275 kW. The minimum exergy destruction took place in the gas turbine as 2.663 kW.

By splitting exergy destruction into parts, the causes for inefficiency were better analyzed. The unavoidable exergy destruction ratios for the compressor, the combustion chamber and the turbine were found to be 75.1%, 14.5% and 39.2%, respectively.

The other components had substantial negative effects in the jet engine. The exogenous exergy destructions for the compressor, the combustion chamber and the gas turbine were calculated as 65.8%, 54.4% and 45.7%, respectively.

48% of the exergy destruction in the compressor was obtained as unavoidable and this was because of the effects of other components. In the combustion chamber 46.5% of the exergy destruction was avoidable and externally related. Most of the inefficiencies in the turbine were self originated and found to be 35.5% of the exergy destructions.

Overall system performance showed that 45% of the exergy destruction was endogenous and only 55% was from other components. On the other hand, 21% of the exergy destruction was obtained as unavoidable and 79% of the exergy destruction can be avoided by making improvements in the system.

The findings pointed out that the compressor and the combustion chamber were to be improved at first sight. Their exergy destruction ratios were higher. On the other hand, turbine may have lower exergy destructions by making improvements in its design and operating conditions.

In the turbine, the use of new material technologies will be beneficial to withstand the high temperatures in turbine blades. The improvements in the Brayton cycle for turbomachinery will increase the efficiencies in the compressor and the turbine. As a future study it may be useful to study the performance optimization of the jet engine by using advanced exergy analysis.

REFERENCES

- Tsatsaronis George, Park Moungh-Ho (2002), "On avoidable and unavoidable exergy destructions and investment costs in thermal systems", *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, pp.1259-1270.
- Cziesla Frank, Tsatsaronis George, Gao Zengliang (2006), "Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combines cycle power plant", *Energy*, Vol. 31, No. 10-11, pp.1472-1489.
- Bahiraei Farid, Saray R.Khoshbakhti, Salehzadeh Aidin (2011), "Investigation of potential of improvement of helical coils based on avoidable and unavoidable exergy destruction concepts", *Energy* Vol.36, No. 5, pp.3113-3119.
- Wei Zhiqiang, Zhang Bingjian, Wu Shengyuan, Chen Qinglin, Tsatsaronis George (2012), "Energy-use analysis and evaluation of distillation systems through avoidable exergy destruction and investment costs", *Energy*, Vol. 42, No. 1, pp424-433.
- Kelly Solange, Tsatsaronis George, Morosuk Tatiana (2009), "Advanced exergetic analysis: Approaches for splitting the exergy destruction into endogenous and exogenous parts", *Energy*, Vol. 34, No.3, pp.384-391.
- Petrakopoulou Fontina (2011), "Comparative evaluation of power plants with CO₂ capture: thermodynamics, economic and environmental performance", PhD dissertation, Berlin Technical University.
- Morosuk Tatiana, Tsatsaronis George (2009), "Advanced exergy analysis for chemically reacting systems-application to a simple open gas-turbine system", *International Journal of Thermodynamics*, Vol. 12, No.3, pp.105-111.
- Morosuk Tatiana, Tsatsaronis George (2011), "Comparative evaluation of LNG-based cogeneration systems using advanced exergetic analysis", *Energy*, Vol. 36, No. 6, pp.3771-3778.
- Şöhret Yasin, Açıkkalp Emin, Hepbasli Arif, Karakoc Tahir Hikmet (2015), "Advanced exergy analysis of an aircraft gas turbine engine: splitting exergy destructions into parts", *Energy*, Vol. 90, No. 2, pp.1219-1228.
- Balli Ozgur (2017), "Advanced exergy analysis of an aircraft turboprop engine (TPE)", *Energy*, Vol. 124, pp.599-612.
- Balli Ozgur (2019), "Advanced exergy analysis of an aircraft turbofan engine (TFE): splitting exergy destruction into unavoidable/avoidable and endogenous/exogenous", *International Journal of Turbo and Jet Engines*, Vol. 36, No. 3, pp.305-327.
- Yuksel Burak, Balli Ozgur, Gunerhan Huseyin, Hepbasli Arif (2020), "Comparative performance metric assessment of a military turbojet engine utilizing hydrogen and kerosene fuels through advanced exergy analysis method", *Energies*, Vol. 13, pp.1-22.
- Balli Ozgur, Aygun Hakan, Turan Onder (2022), "Enhanced dynamic exergy analysis of a microjet (μ -jet) engine at various modes", *Energy*, Vol. 239, 121911.

HAVACILIK EĞİTİMİNDE YENİ BİR PERSPEKTİF: ETKİLEŞİMLİ SANAL GERÇEKLİK ORTAMLARI

Mehmet Ali EĞİNLİ, Hüseyin A. ERDEM, Yavuz NACAĞLI

GİRİŞ

21. yüzyılın en önemli gelişmelerinden birisi olan dijitalleşme, bilgi teknolojilerinde meydana gelen hızlı ve kapsamlı gelişimin ürünü olarak ortaya çıkmış ve yaşadığımız bu yüzyılın dijital çağ olarak adlandırılmasına sebep olmuştur. Küreselleşen dünyada ilk başta endüstri alanında gerçekleştirilen devrimlerden en yenisi olan dijital dönüşüm, çok geçmeden diğer alanlarda da etkisini göstermiştir. Bu alanlardan birisi de eğitimidir. Günümüzde Endüstri 4.0 devrimi ile birlikte ortaya çıkan hologram, bulut bilişim, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi birçok yenilik eğitimdeki yaklaşımların yeniden değerlendirilerek, eğitimin de bu dijital dönüşüme uyum sağlayacak şekilde yenilenmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, Eğitim 4.0 adı altında, inovasyonun (yenilenme) temel bileşen olarak kabul edildiği ve yaşam boyu öğrenmenin esas alındığı bir eğitim anlayışı hâkim olmaya başlamıştır.

Hayatımızın her alanının vazgeçilmez bir parçası haline gelen bilgi teknolojilerine eğitim açısından bakıldığında, 21. yüzyıl yaşamına çok farklı şekillerde kullanım olanakları sunabileceği görülmektedir. Eğitim 4.0'ın 21. yüzyıl yaşamına uyum sağlayabilmeleri için öğrencilere kazandıracığı değerlendirilen beceriler arasında liderlik, işbirliği becerisi, etkili iletişim, dijital okur-yazarlık, bilgi ve medya okuryazarlığı, eleştirel düşünme, yaratıcılık ve inovasyon, problem çözme ve takım çalışması, küresel vatandaşlık, kariyer ve öğrenme becerileri, duygusal zeka, girişimcilik, kültürlerarası anlayış bulunmaktadır (Hariharasudan, A., Kot, S., 2018, Puncreobutr, V., 2016, Krpálek, P., & Krelová, K. K., 2016). Bu yetenekleri kazandırabilmek ve öğretmen ile öğrencilerin eğitim taleplerine cevap verebilmek için eğitim teknolojileri, sürekli bir değişim ve yenilenme içerisindedir.

Günümüzdeki öğrenme yöntemleri, artık sınıfta öğretmenin anlattıklarını ezberlemeye dayalı modeli çoktan aşarak, öğrencinin de aktif olarak gerek bireysel gerekse grup çalışması şeklinde eğitim sürecine katıldığı bir modele dönüşmüştür. Yaşam boyu eğitim temelinde gelişen bu Eğitim 4.0 modeli, öğrencileri inovatif topluma hazırlayacak en uygun model olarak değerlendirilmektedir (Öztemel, E., 2018). Eğitim 4.0 kapsamında eğitimi destekleyecek unsurlardan olan teknoloji, öğrenmede son derece kritik bir

öneme sahiptir. Eğitim için kullanılacak teknolojilere arasında, son zamanlarda sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ortamlarının yıldızı hızla parlamaktadır.

Bu çalışmada temel olarak, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ortamlarının havacılık eğitimlerinde kullanımı ile elde edilebilecek kazanımlar incelenmiştir. Özellikle havacılık eğitimi kapsamında verilen ve kavranması zor olan derslerde, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları ile öğrencinin dersi aktif bir şekilde öğrenebilmesine imkân tanınmasıyla öğrenme sürelerinin önemli ölçüde azaltılabileceği ve eğitim etkinliğinin artırılacağı değerlendirilmektedir. İkinci bölümde, eğitimde teknolojinin gelişmesi ve toplumun buna entegre olabilmesi için gerçekleştirilen zorunlu dönüşümlerin aşamaları anlatılmış, üçüncü bölümde sanal gerçeklik ortamlarının yer aldığı sektörel uygulamalar özellikle havacılık sektöründeki uygulamalar vurgulanarak tanıtılmış, sanal ortamların havacılık eğitiminde kullanılmasının avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiş, son bölümde ise havacılık eğitiminde Eğitim 4.0 kapsamında genel bir değerlendirme sunulmuştur.

EĞİTİM 1.0'DAN EĞİTİM 4.0'A

Toplumların yaşam tarzlarında dönüşümleri tetikleyen endüstri devrimlerinden Endüstri 4.0 devrimini diğer devrimlerden ayıran özelliklerden birisi sadece sanayi veya iş dünyasını değil sağlık, eğitim, lojistik gibi farklı alanları da etkilemiş ve halen etkilemeye devam ediyor olmasıdır.

Günümüzdeki bilgi/innovatif toplumun taleplerine hitap edecek kalite ve yetenekte yeni nesiller yetiştirilmesinde ve bu nesillerin sürekli değişen dinamiklere sahip bir toplumla uyum içinde yaşayabilmeleri için eğitim yöntemlerinde değişim zorunludur (Puncreobutr, V., 2016). Endüstri dönüşümlerinin her biri, ait oldukları toplumların farklı taleplerine hitap edecek şekilde, eğitim alanlarında da dönüşümlere neden olmuştur. Tarihsel açıdan eğitimin, o dönemki toplumların yapı ve ihtiyaçlarına göre şekillenerek gelişme süreci aşağıda verilmiştir (Puncreobutr, V., 2016, Öztemel, E., 2018);

▪ **Eğitim 1.0:** Tarım toplumuna hitap eden ve öğreticiden öğrenciye hazır olarak ezbere uygun vaziyette bilginin aktarımı şeklinde gerçekleşen ve öğrencinin pasif olduğu bir eğitim yöntemi temel alınır (Puncreobutr, V., 2016, Öztemel, E., 2018, Yalçınkaya, D., Korkmaz, S., & Karataş, A., 2019, Karim, R. A., Abu, A. G. B., Adnan, A. H. M., & Suhandoko, A. D. J., 2018).

▪ **Eğitim 2.0:** Seri üretim yapan fabrikaların bu dönemde yaygınlaşması, burada çalışacak insan gücünün sanayi toplumunun ihtiyaçlarına hitap edecek şekilde eğitimini gündeme getirmiş ve “seri imalat” şeklinde eğitim veren bir sistem oluşturulmuştur. Seri imalat eğitim diye de adlandırılan ikinci eğitim

devriminde, kurumlarının fabrika, öğrencilerin fabrikadan çıkan ürünler, sınavların kalite kontrol işlemi, diplomaların da garanti belgesi olarak görüldüğü eğitim anlayışı hâkimidir. Çok fazla yaratıcılık gerektirmeyen ve sadece işte kullanılacak cihazlara ait teknolojilerin öğretilmesini ve internet-tabanlı öğrenmeyi de kapsar (Puncreobutr, V., 2016, Öztemel, E., 2018, Yalçınkaya, D., Korkmaz, S., & Karataş, A., 2019).

▪ **Eğitim 3.0:** Teknoloji toplumunun taleplerini hedef alan, temel öğrenim yöntemi olarak da kendi kendine öğrenmeyi benimseyen, bilgisayar ve öğrenme teknolojileri (dijital veya sosyal medya, slayt, video...) kullanımı sayesinde etkileşimli bir eğitim anlayışını ortaya çıkarmıştır. Öğrencilerin sadece bilgiyi tüketen değil aynı zamanda üreten de olduğu, bilgi üretim odaklı bireysel öğrenme sistemleri geliştirilmiştir (Puncreobutr, V., 2016, Öztemel, E., 2018, Yalçınkaya, D., Korkmaz, S., & Karataş, A., 2019, Karim, R. A., Abu, A. G. B., Adnan, A. H. M., & Suhandoko, A. D. J., 2018).

▪ **Eğitim 4.0:** Bilgi/teknoloji toplumunun taleplerini karşılayabilme doğrultusunda inovasyonu eğitimin temel bileşenlerinden biri olarak kabul eden bir eğitim kavramının esas alındığı, yaşam boyu öğrenmenin benimsendiği, eğitimdeki inovasyon odaklı en yeni dönüm noktasıdır. Eğitim 4.0 ile öğrenmenin sadece okulda değil, hayat boyu 7/24 devam eden inovatif bir aktivite olması amaçlanmaktadır. Bireylerin yaratıcı ve yenilikçi gençler olabilmeleri için gerekli olan inovasyon yaratma becerilerini geliştirebilmelerini amaçlar (Puncreobutr, V., 2016, Öztemel, E., 2018, A., 2019, Karim, R. A., Abu, A. G. B., Adnan, A. H. M., & Suhandoko, A. D. J., 2018).

Teknoloji temelleri üzerinde bir yaşam süren günümüz öğrencileri, on yıl öncesindeki öğrencilere göre eğitim açısından çok farklı taleplere sahiptir. Bu nedenle, eğitim yöntemlerinde değişimlerin gerçekleşmesi kaçınılmaz olacaktır (Hussin, A. A., 2018). Bu da eğitim yöntem ve sistemlerinde yeni gelişmelere, diğer bir deyişle dijital dönüşüme (Eğitim 4.0) açık olmakla başarılabilecektir (Öztemel, E., 2018).

Keser ve Semerci (Keser, H., & Semerci, A., 2019) endüstri devrimlerinin ışığında eğitimdeki teknoloji trendlerini ve bu doğrultuda değişen eğitimsel paradigmaları inceledikleri çalışmalarının sonucunda, eğitimde teknoloji kullanımının günümüz küresel dünyasında kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir.

Wallner ve Wagner (Wallner, T., Wagner, G., 2016) çalışmalarında, öğrencilerin geleceğe hazırlanabilmelerini sağlamak için geleneksel anlatım tekniği (öğretmenin öğrencilere kavramları aktardığı ezberci yöntem) yerine, daha etkin olan aktif öğrenme tekniğine (Eğitim 4.0) geçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır (Wallner, T., Wagner, G., 2016, Freeman, S., Eddy, S. L.,

McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P., 2014).

İnovasyonu sağlamak için dijital okuryazarlık geliştirilerek eğitim kalitesinin artırılması, öğretmenlerin yeni teknolojik cihazları derslerinde kullanmalarının teşvik edilmesi veya görsel eğitim sistemleri araçlarını kullanmalarının artırılması (Sanal veya artırılmış gerçeklik ortamları), oyun/senaryo ve proje tabanlı öğrenme ile sadece bilgiye dayalı değil düşünmeyi de odak noktası haline getiren öğretim yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir (Öztemel, E., 2018).

SEKTÖREL UYGULAMALAR

Sanal gerçeklik ortamları, kullanıcının kendisini bilgisayar tabanlı olarak yaratılan sanal ortamın içindeymiş gibi hissetmesine ve bunun bir sonucu olarak yeni bir gerçeklik algısı oluşturmaya zemin hazırlamaktadır. Gerçekmiş gibi bir algının oluşturulmasıyla kullanıcı, davranışlarını zihinsel ve fiziksel olarak o ortamdaki gibi şekillendirmeye başlamaktadır. Kullanıcıya verilen çeşitli geribildirimler (işitme, dokunma, görme vb.) ile o ortamın gerçeğe yakın bir şekilde benzetimi sağlanmaktadır (Gutierrez, M., Vexo, F., & Thalmann, D., 2008, Sherman, W. R., & Craig, A. B., 2003).

Endüstri 4.0 teknolojileri arasında bulunan artırılmış gerçeklik ise gerçek ve sanal dünyayı birleştirerek insan algısının daha da artırılabilmesine yardım eder. Bu yöntemde gerçek fiziksel nesnelere ile sanal objeler karma bir sanal-gerçek ortamı oluşturacak biçimde bir araya getirilerek, kullanıcının bilgisayar veya akıllı cihaz ekranından bu nesnelere aynı ortamdaki gibi görmesi sağlanır. Artırılmış gerçeklik teknolojisi günümüzde bakım-onarım, eğlence, spor, turizm, mimari, askeri uygulamalar, tıp ve eğitimde sıklıkla kullanılmaktadır (Keser, H., & Semerci, A., 2019, Sanna, A., & Manuri, F., 2016).

Endüstri 4.0 teknolojisi olan üç boyutlu baskı oluşturan yazıcılar ile öğrencilerin yaratıcı fikirler geliştirmeleri ve fikirlerini gerçek modellere dönüştürebilmeleri mümkün olabilmektedir. Tıp, havacılık, gıda, otomotiv, sanat, mimari ve askeri alanlarda hâlihazırda kullanılan üç boyutlu yazıcılar ile bilgisayarda tasarımı yapılabilen her nesnenin istenilen herhangi bir hammadde ile gerçek bir nesneye dönüştürülebilmesi sağlanabilmektedir (Keser, H., & Semerci, A., 2019, Özsoy, K., & Duman, B., 2017). Sektörel uygulamalar açısından bakıldığında, Arçelik Firmasının üç boyutlu yazıcılarla yedek parça üretimi yapılan projeler üzerinde çalıştığı görülmektedir (Yalçinkaya, D., Korkmaz, S., & Karataş, A., 2019). Cerrahi navigasyon sistemi olan XVision-Spine ise artırılmış gerçeklik teknolojisinin cerrahi operasyonlara entegre

edilebilmesini sağlayan en yeni teknolojik çözümlerden birisidir (Yokneam, I., 2018).

Hussin (Hussin, A. A., 2018) çalışmasında, insan ve teknolojiyi bir araya getiren Endüstri 4.0'ın getirdiği değişimlerin bir zorunluluğu olarak ortaya çıkan yeni taleplere, Eğitim 4.0'ın cevap verebileceğini belirtmiştir. Çalışmasında, yabancı dil eğitiminde kullanılabilecek etkileşimli bir ortam için yararlanılabilecek bilgisayar tabanlı uygulamalar ve sonuçlarını değerlendirmede temel alınabilecek kavramları açıklamıştır. Anggraeni (Anggraeni, C. W., 2018)'nin çalışmasının amacı, Tidar Üniversitesinde EFS (English for Survival) sınıfındaki zorunlu ders olan İngilizce eğitiminde Eğitim 4.0'ın ne şekilde desteklenebileceğinin belirlenmesidir.

Karim vd. (Karim, R. A., Abu, A. G. B., Adnan, A. H. M., & Suhandoko, A. D. J., 2018) çalışmalarında yükseköğretimde Eğitim 4.0'ı mobil öğrenim (m-öğrenme tablet bilgisayarlar, akıllı telefonlar veya mp3 oynatıcılar gibi elektronik cihazlar kullanarak öğrenme sürecinin desteklenmesini sağlar) uygulamaları açısından ele almışlardır. Çalışmada, yakın gelecekte kullanılan mobil iletişim cihazları sayısının kişisel bilgisayar (PC) sayısından daha fazla olacağı tahmininden hareket edilerek, yükseköğretim lisans öğrencilerinin bakış açısından (mobil öğrenmeyi kullanıp kullanmadıkları, mobil öğrenme için hangi cihazları kullandıkları, mobil öğrenme ortamlarını kullanma süreleri...) m-öğrenmenin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Coşkun, Kayıkçı ve Gençay (Coşkun, S., Kayıkçı, Y., & Gençay, E., 2019) çalışmalarında, mühendislik eğitime Endüstri 4.0'ın entegre edilebilmesi için farklı mühendislik bölümlerinin ders programlarını oluşturmada, laboratuvar içeriklerini belirlemede ve öğrenci kulüp aktivitelerinde değişim/iyileştirme gerçekleştirmede temel alınabilecek, üç adımdan oluşan bir yol haritası vermişlerdir. Çalışmalarının ana hedefinin geleceğin dijitalleşmiş dünyasına katkı sağlayabilecek ve uyum gösterebilecek mühendisler yetiştirmek olduğunu açıklamışlardır.

Messias vd. (Messias, G., Rodrigues, U., Braga, L., Nakamura, W., Ferreira, B., Paiva, A., & Valentim, N., 2018) çalışmalarında, Brezilya'daki lise öğrencilerini hedefleyen ve robotik faaliyetlerin kullanımı yoluyla geliştirilen Eğitim 4.0 becerilerini kapsayan bir durum çalışması sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre robotik faaliyetlerden yararlanan öğrencilerin, yaratıcılık inovasyon ve problem çözme yeteneklerinde gelişme olduğunu, bu yöntemle daha iyi iletişim kurma ve işbirliği oluşturma yeteneği kazandıklarını, bunlara ek olarak da öğrenirken eğlendiklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca, alınan öğretmen

geri bildirimlerinin değerlendirilmesiyle öğretmenlerin, robotik faaliyetlerin yaratıcılık ve problem çözmeye yardımcı olduğunu düşündüklerini göstermiştir.

Grodotzk, Ortest ve Tekkaya (Grodotzki, J., Ortelt, T. R., & Tekkaya, A. E., 2018) çalışmalarında Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığınca, endüstriyel devrimlere, Eğitim 4.0 olarak mühendislik eğitimiyle de ayak uydurabilmek amacıyla, işbirlikli ELLI (Excellent Teaching and Learning in Engineering Science, Mühendislik Biliminde Mükemmel Öğretme ve Öğrenme) projesinin hayata geçirildiğini belirtmişlerdir. Bu proje kapsamındaki Almanya'daki üç ayrı üniversitede, uzaktan ve sanal laboratuvarlar kurulduğu, "imalat teknolojisi odaklı makine mühendisliği eğitiminde" uzak laboratuvarların, zaman ve mesafe kısıtlarını aşmak için de sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinden yararlanılabileceği belirtilmiştir.

Mourtzis vd. (Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V., 2018) Eğitim 4.0'a geçişin imalat eğitimini nasıl etkileyeceğini tespit etmek için radyo-kontrollü elektrikli araba yapımını ele aldıkları çalışmalarında, siber-fiziksel sistemleri ve Endüstri 4.0 teknolojilerini birleştirerek, geleneksel öğretim dersinden, öğretim fabrikası 4.0'a geçiş için bir çatı yapısı (framework) önermişlerdir. Geliştirilen çatı yapısı ile eğitimcilerin 4.0 kavramını, araştırılan malzemenin algısını artıran gerçekçi simülasyonlara, mühendislik öğrencilerini dâhil etmek için kullandıkları Endüstri 4.0 teknolojileriyle desteklemeyi hedeflemişlerdir.

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE EĞİTİM 4.0

Mladkova (Mládková, L., 2018) insanın karmaşık teknoloji ile etkileşimde bulunduğu karmaşık sosyo-teknik sistemleri temsil eden Endüstri 4.0'ı, insan-teknoloji etkileşimi bakımından havacılık açısından incelediği çalışmasında, Endüstri 4.0 teriminin resmi olarak tanıtılmasından yıllar önce havacılık endüstrisinde kullanılmakta olduğunu ifade etmiştir. Hava taşıtlarının akıllı sistemlerle donatılmasının, uçakların pilotlar tarafından güvenli bir şekilde işletilmesini sağladığına, bunun bir sonucu olarak da uçakların, basit makinelerden son derece karmaşık siber-fiziksel ortamlara (Endüstri 4.0'ın kapsamında olan) dönüştürüldüğüne dikkat çekmiştir.

Günümüzde havacılık alanında tasarım, bakım, uçak içi yapısal takip ve uçuş yönetimi gibi konularda Endüstri 4.0 uygulamaları ile havacılıkta rekabet avantajı sağlanmaya çalışılmaktadır (A. Ceruti, P. Marzocca, A. Liverani, B. Cees, 2019). Endüstri 4.0, yenilikçi teknolojilerin çalışma sürecine entegrasyonu ile birlikte bakım faaliyetlerinin uzun vadeli gelişimini sağlamak için yeni fırsatlar sunmaktadır. Yeni teknolojiler beraberinde yeni yetenek

ihtiyaçlarını ortaya çıkarmakta ve eğitimlerin gözden geçirilerek yeniden yapılandırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Söz konusu gelişmiş üretim teknolojilerinin sürdürülebilir çalışması için yüksek vasıflı operatörlere ve deneyimli mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır (B. Salah, M.H. Abidi, S.H. Mian, M. Krid, H. Alkhalefah, A. Abdo, 2019).

Dijital çağda doğmuş ve büyümüş olan yeni nesil, dijital kuşak ya da Z kuşağı olarak adlandırılmaktadır (M. Prensky, 2001). Z kuşağı yaratıcı aktiviteler, değişim ve inovasyondan hoşlanmaktadır. Aynı zamanda Z kuşağı kişisel ve bağımsız öğrenmeyi tercih etmekte ve motor becerilerini senkronize etmeyi tercih etmektedirler. Bu nedenle bu kuşakta yer alan bireyler öğrenirken okumak yerine izlemeyi tercih etmekte, bir ekran karşısında ve üç boyutlu öğrenme, sanal ortamda gerçek yaşamın yansımaları görmek istemektedirler (A. Erdem, 2017).

Çağdaş eğitim yöntemleri ve ileri eğitim uygulamalarıyla doğuştan itibaren internetle büyümüş dijital toplumu oluşturan yeni neslin ilgisini çekmek, istenen yetkinliği aşmak, onları geleceğe hazırlamak ve etkili yöntemler geliştirmek için yenilikçi fikirlere ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte görselleştirme teknolojilerinde özellikle de sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarındaki heyecan verici gelişmeler, öğrencilere sürdürülebilir yenilikçi bir eğitim için fırsatlar sunmaktadır. Gelecek neslin tutkusunu korumak, onları gelişmiş sistemlerle eğitmek ve sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmak için akılcı ve mantıksal yöntemler geliştirilmesi önem arz etmektedir (B. Salah, M.H. Abidi, S.H. Mian, M. Krid, H. Alkhalefah, A. Abdo, 2019).

Tam bu noktada bir eğitim aracı olarak sanal ve artırılmış gerçeklik, eğitimi kolaylaştırıcı ve aynı zamanda kuvvet çarpanı olarak öne çıkmaktadır. Oturum başına çok az veya hiç ek maliyet olmadan, kısa sürede birçok eğitim tekrarını gerçekleştirmek için idealdir (flatironssolutions.com, 2020). Bu teknoloji sayesinde, öğrenciler çevreyle etkileşim halinde ve zihinsel süreçlerini aktif bir biçimde kullanarak sürece dâhil olabilmekte, öğrenirken yeni keşifler yapabileceği deneyimi yaşayabilmektedir. Bununla birlikte yüz yüze iletişim yerine, bilgi ve deneyimlerin paylaşıldığı bir ortam yardımıyla doğrudan eğitim materyaliyle etkileşim kurabilmektedirler (M. Dunleavy, C. Dede, 2014).

Sanal ve artırılmış gerçeklik tabanlı eğitim sistemleriyle gerçek dünyadakine benzer çalışma ortamı oluşturularak başta pilotlar, uçak bakım personeli ve hava trafik kontrolörleri olmak üzere diğer tüm havacılık çalışanlarının birçok göreve ilişkin eğitimleri etkin bir şekilde yapılabilir. Uçak bakım işlemleri de benzer şekilde karmaşık ve riskli görevler içermektedir.

Havacılık güvenliğini artırma kapsamında, insan hatalarının operasyonlar üzerindeki etkisini azaltma çalışmaları çok önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle havacılık sektöründeki bakım teknisyenleri katı zaman kısıtlamaları ve sıkı kurallara bağlı olarak yüksek stresli koşullar altında çalışmaktadır. Havacılık güvenliği için çok büyük bir tehdit olan bakım hataları bilinmesine rağmen, konuyla ilgili çok az simülasyon bulunmaktadır. Bilgisayar tabanlı eğitim sistemleri kullanılarak, bakım teknisyenlerinin eğitimlerinde yüksek standartlar yakalanabilir, yaşanan tecrübelerin eğitimlere dâhil edilmesiyle kurumsal hafıza oluşturulabilir ve konuların daha açık bir şekilde anlaşılabilirliği sağlanabilir (F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L.D. Stefano, P. Azzari, S. Salti, 2011). Ayrıca, bazı görevleri sık sık yerine getirme fırsatı bulamayan bakım teknisyenlerinin belirli detayları zaman içinde unutma ihtimali bulunduğundan daha önceden alınmış eğitimlerin periyodik olarak tekrarlanması çok önemlidir. Bu kapsamda, riskli ve karmaşık süreçleri içeren bakım uygulamalarının daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için eğitimlerde dijital teknolojilerden yararlanılması süreç yönetimini kolaylaştırmaktadır.

EĞİTİM SEKTÖRÜNDE UÇAK BAKIM UYGULAMALARI

2019 yılında 78 milyon ABD doları olan havacılıkta artırılmış ve sanal gerçeklik pazarının, 2025 yılına kadar yaklaşık 17,5 kat artarak 1.372 milyon ABD dolarına çıkacağı tahmin edilmektedir. Artan verimlilik ve maliyet tasarruflarının, havacılığın büyümesinde artırılmış ve sanal gerçeklik pazarını yönlendirmesi beklenmektedir. Havacılıkta artırılmış ve sanal gerçeklik imalat, bakım, havaalanı operasyonları, havayolu operasyonları, havacılık eğitimi gibi havacılık fonksiyonlarında maliyet tasarrufuna yol açan daha pürüzsüz ve verimli operasyonlar sağlamaktadır (Intrado Research and Markets, 2019). Havacılık endüstrisi özellikle artırılmış gerçekliğin yükselişinden yararlanmaya hazır olup, birçok şirket uçak bakımını kolaylaştırmak için artırılmış gerçeklik seçenekleri geliştirmektedir (Panasonic Avionics, 2020).

Lori Brown'un HoloLens çalışmasıyla Western Michigan Üniversitesi, sınıfta artırılmış gerçeklik kullanan ilk üniversite havacılık programı olmuştur (Uniting Aviation, 2020). Vuforia Model uçak bakımında uygulamalarına AVATAR, burun iniş takımı montajıyla büyük ölçekli (6:1) F/A-18 F model uçaklarda başlamıştır. Normal şartlarda burun iniş takımında kablolama ve hidrolik sistemlerde meydana gelen arızaları giderirken uçak başına gitmek, o bölgede bulunan bazı parçaları sökmek, yeniden takmak, test etmek ve tüm bunları bir uzmanın nezaretinde yapmak gerekmektedir. Bu işlemler sonucunda uçağın faaliyetinde gecikmeler, ekipmanlarında aşınma ve yıpranmalar oluşmaktadır. AVATAR ise tüm bu işlemlerin uçuş hattına gitmeden emniyetli ve

etkin bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. AVATAR artırılmış gerçeklikte bakım kılavuzlarında bulunan prosedürdeki her bir ardışık adım için açılması gereken tüm panelleri, hangi konnektör ve pimlerin kullanılacağı, demontaj ve montajları göstermektedir (Vuforia Engine, 2020).

United Technologies Araştırma Merkezi ile Pratt & Whitney bakım eğitimlerinde kullanılmak üzere sanal gerçeklik motoru geliştirme konusunda işbirliği başlattığını açıklamıştır (Avionics International, 2020). Ayrıca, AFI KLM E&M tarafından Boeing 787 Trent 1000 motorunun karmaşık mekanik sistemleri ve bileşenleri, hologram olarak yeniden yaratılmıştır. Bu teknoloji yardımıyla eğitilenlerin daha kısa bir eğitim süresinde becerilerini dinamik ve verimli bir şekilde geliştirebilmesi, işbirliği halinde bir takım olarak eğitilmesi ve tam bir hareket özgürlüğüne sahip olmaları sağlanmaktadır. Nuveon yetkilisi tarafından yapılan açıklamada Gulf Air'in müşterileriyle birlikte hazırlanarak onaylanan modülün, EASA ve Bahreyn CAA tarafından Bölüm 147 sertifikalı olduğu belirtilmiştir. Hollanda Havacılık Araştırma Merkezi (NLR) ile AFI KLM E&M tarafından bir işbirliği yapılarak eğitilenlerin sistemlerinde ve eğitmenlerinde hareket etmelerine ve etkileşimde bulunmalarına olanak tanıyan sanal bir uçak modeli geliştirmiştir. Araştırmalar, bu fütüristik çözümün geleneksel yöntemlerinden ve hatta bilgisayar destekli öğrenmeden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermekte ve teknisyenler için mevcut en ileri eğitim olduğu düşünülmektedir (Air France Industries, 2020).

Japan Airlines ve JAL Engineering ile birlikte Airbus, A350 XWB için Microsoft HoloLens sürükleyici karma gerçeklik kulaklıklarından yararlanan bir prototip eğitim uygulaması geliştirmiştir. Airbus'ın geliştirdiği eğitim, uzaktan işbirliği ve bakım çözümleri de dâhil olmak üzere birçok hazır uygulamayı içermektedir. Bakım teknisyenlerine ve kabin ekibine, işleyen görüş alanlarında görüntülenen üç boyutlu içerik ve iş akışı talimatları ile yardımcı olan bir eğitim programı sunulması amaçlanmaktadır (Civil Aviation Training Magazine 2019).

Bir uçak bakım ve onarım hizmetleri şirketi olan FL Technics, bakım ekipleri için standartlaştırılmış eğitim sürecini sanal bir öğrenme ortamı geliştirerek havacılık mekaniği eğitimlerini üç aydan üç haftaya indirmeyi hedeflemektedir (Vision, 2020).

SONUÇ

Teknolojide çok hızlı değişimlerin görüldüğü günümüzde, çeşitli geleneksel eğitimlerin sonunda aldığı bilgilerle mezun olan öğrencilerin bu değişimlere ayak uydurmada yetersiz kaldığı ve Endüstri 4.0'ın talep ettiği kalifiye insan gücünü karşılayamadığı görüldükçe (Yalçınkaya, D., Korkmaz, S.,

& Karataş, A., 2019), eğitimde köklü değişikliklere olan gereksinim daha da belirgin hale gelmiştir. Bu yetersizliklerin ortadan kaldırılması ve öğrencilerin teknolojiyle iç içe olan yeni yaşam düzenlerine uyumu yakalayabilmeleri için yeni eğitim modellerinden Eğitim 4.0, çoğu eğitim kurumları tarafından gündeme alınmıştır. Eğitim 4.0'ın en önemli getirileri arasında inovatif öğrenme ve yaşam boyu öğrenmeyi desteklemesi bulunmaktadır.

Yeni teknolojilerin eğitimde kullanılabilecek şekilde geliştirilmesiyle öğrenmede çok farklı avantajlar sağlayabileceği görülmüştür. Sanal gerçeklik ortamları ile simüle edilebilecek laboratuvar ortamları, uzaktan bağlantılı sistemlerle yer ve mekân bağımsız çalışabilen eğitim ortamlarına zemin hazırlarken, artırılmış gerçeklik ortamları ile de öğrencinin yönlendirmeli bakım-onarım işlemleri yapabilmesi sağlanarak öğrenilen uygulamaları pekiştirmelerine yardımcı olunabilmektedir.

Uçak bakım teknisyenlerinin mezuniyet sonrası çok kısa bir süre içerisinde operasyonel mükemmelliği yakalamaları ve meslek hayatları boyunca bunu sürdürmeleri için bilgilerini güncel tutma zorunluluğu bulunmaktadır. Artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla verilen uçak bakım eğitimlerinin sağladığı deneyimler ve derin öğrenme sayesinde, zor ve sıkı koşullar altında görev yapan uçak bakım teknisyenlerinin başarılı görevler icra etmesi sağlanabilecektir.

Artırılmış gerçekliğin önünde teknolojik engellerin (altyapı, çözünürlük, fiziksel etkileşim zorlukları vb.) bulunması, aşırı bilişsel yüke neden olması, donanım ile yazılımların yüksek maliyetli olması, içerik geliştirme zorluğu, teknik bilgi yetersizlikleri, geliştirme ve bakım masrafları gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ana zorluk, dijital görüntüleri görüntüleme deneyimini tamamen kapsayıcı hale getirmek için uygun içeriğin ve uygun görüntüleme teknolojisinin geliştirilmesidir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarının önündeki engellerin hızla gelişen teknolojinin sunacağı yeniliklerle kısa zamanda ortadan kalkabileceği değerlendirilmektedir.

İlerleyen zamanlarda hızla gelişmekte olan artırılmış gerçeklik uygulamalarının önünde bulunan teknolojik engellere çözüm bulunacağı, maliyetlerin düşürüleceği, içerik geliştirme zorluklarının ortadan kaldırılacağı ve sayıca yetersiz teknik personel sorunlarının aşılacağı düşünülmektedir. Uçak bakım eğitimlerinde artırılmış gerçeklik uygulamalarının kullanılmasının eğitimi dijitalleştirerek yeni neslin daha fazla dikkatini çekeceği, eğitim etkinliğini artıracığı, eğitim zamanı ve maliyetleri azaltacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Hariharasudan, A., & Kot, S. (2018). A Scoping Review On Digital English And Education 4.0 For Industry 4.0. *Social Sciences*, 7(11), 227.
- Puncreobutr, V. (2016). Education 4.0: New Challenge Of Learning. *St. Theresa Journal of Humanities and Social Sciences*, 2(2).
- Krpálek, P., & Krelová, K. K. (2016). Possibilities For Developing Business Potential In Economic Education. Examples of implementation in Slovakia and the Czech Republic. *Economics & Sociology*, 9(4), 119.
- Puncreobutr, V. (2016). Education 4.0: New Challenge Of Learning. *St. Theresa Journal of Humanities and Social Sciences*, 2(2).
- Öztemel, E. (2018). Eğitimde Yeni Yönelimlerin Değerlendirilmesi Ve Eğitim 4.0. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 25-30.
- Yalçınkaya, D., Korkmaz, S., & Karataş, A. (2019) Endüstri 4.0 İle Değişen Ve Gelişen Eğitim Yapısı. *Educational Structure Changing And Developing With Industry 4.0*.
- Karim, R. A., Abu, A. G. B., Adnan, A. H. M., & Suhandoko, A. D. J. (2018). The Use of Mobile Technology In Promoting Education 4.0 for Higher Education.
- Hussin, A. A. (2018). Education 4.0 Made Simple: Ideas For Teaching. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 6(3), 92-98.
- Keser, H., & Semerci, A. (2019). Technology Trends, Education 4.0 And Beyond. *Contemporary Educational Researches Journal*, 9(3), 39-49.
- Wallner, T., Wagner, G. (2016). Academic Education 4.0. In *International Conference on Education and New Developments (Vol. 2016, pp. 155-159)*.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active Learning Increases Student Performance In Science, Engineering, And Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Gutierrez, M., Vexo, F., & Thalmann, D. (2008). *Stepping Into Virtual Reality*. Springer Science & Business Media.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding Virtual Reality*. San Francisco, CA: Morgan Kaufman.
- Sanna, A., & Manuri, F. (2016). A survey on applications of augmented reality. *Advances In Computer Science: An International Journal*, 5(1), 18-27.
- Özsoy, K., & Duman, B. (2017). Eklmeli İmalat (Üç Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği. *International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry*, 1(1), 36-48.
- Yokneam, I. (2018). Augmedics Begins First-in-Human Clinical Trial Of Xvision-Spine (XVS) Augmented-Reality Surgical Navigation System, <https://www.businesswire.com/news/home/>

20180808005218/en/Augmedics-Begins-First-in-Human-Clinical-Trial-xvision-spine-XVS,
Erişim tarihi: 13.Ocak.2020.

- Anggraeni, C. W. (2018). Education 4.0 In English For Survival Class: What, Why, And How Is To Promote It? In English Language and Literature International Conference (ELLIC) Proceedings (Vol. 2, pp. 92-96).
- Coşkun, S., Kayıkcı, Y., & Gençay, E. (2019). Adapting Engineering Education To Industry 4.0 Vision. *Technologies*, 7(1), 10.
- Messias, G., Rodrigues, U., Braga, L., Nakamura, W., Ferreira, B., Paiva, A., & Valentim, N. (2018). Education 4.0 and 21st Century Skills: A Case Study With Robotics Activities In Classroom. In Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE), Vol. 29, No. 1, p. 715.
- Grodzki, J., Ortelt, T. R., & Tekkaya, A. E. (2018). Remote And Virtual Labs For Engineering Education 4.0: Achievements Of The ELLI Project At The TU Dortmund University. *Procedia Manufacturing*, 26, 1349-1360.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V. (2018). Cyber-Physical Systems And Education 4.0–The Teaching Factory 4.0 Concept. *Procedia Manufacturing*, 23, 129-134.
- Mládková, L. (2018). Industry 4.0: Human-Technology Interaction: Experience Learned From The Aviation Industry. In European Conference on Knowledge Management (pp. 571-XXIII). Academic Conferences International Limited.
- A. Ceruti, P. Marzocca, A. Liverani, B. Cees, "Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing", *Journal of Computational Design and Engineering*, Volume 6, Issue 4, 516-526, 2019
- B. Salah, M.H. Abidi, S.H. Mian, M. Krid, H. Alkhalefah, A. Abdo, "Virtual Reality-Based Engineering Education to Enhance Manufacturing Sustainability in Industry 4.0", *Sustainability*, 11, 1477, doi:10.3390/su11051477, 2019
- M. Prensky, "Digital natives, digital immigrants," Part 1, *On the Horizon*, 9 (5), 1-6., 2001
- A. Erdem, "Educational Importance of Augmented Reality Application," *Educational Research and Practice*, St. Kliment Ohridski University Press, ISBN 978-954-07-4271-7, 448-458, 2017
- "Augmented Reality In Aviation A Long-Awaited Technology Comes of Age", https://www.flatironssolutions.com/wp-content/uploads/2018/05/FJ_en_brochure_AR_in_Aviation_WP.pdf Erişim tarihi: 15.Ocak.2020.
- M. Dunleavy, C. Dede, "Augmented reality teaching and learning," *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, 735-745, 2014
- F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L.D. Stefano, P. Azzari, S. Salti, "Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support," *IEEE Computer Society*, 96-101, 2011

- Intrado Research And Markets, "Globo AR and VR Market in Aviation (2019-2025): Set to Register a CAGR of 61.2%, with Massive Opportunities in AI and ML Integration," <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/12/17/1961393/0/en/Globo-AR-and-VR-Market-in-Aviation-2019-2025-Set-to-Register-a-CAGR-of-61-2-with-Massive-Opportunities-in-AI-and-ML-Integration.html> Erişim tarihi: 01.Aralık.2021.
- Panasonic Avionics, "How Augmented Reality Can Change Airplane Maintenance and Piloting Forever," <https://www.panasonic.aero/blog-post/how-augmented-reality-can-change-airplane-maintenance-and-piloting-forever/> Erişim tarihi: 01.Aralık.2021.
- Uniting Aviation, "The future of MRO: emerging technologies in aircraft maintenance," <https://www.unitingaviation.com/strategic-objective/capacity-efficiency/the-future-of-mro-emerging-technologies-in-aircraft-maintenance/> Erişim tarihi: 01.Aralık.2021.
- Vuforia Engine, "Vuforia Model Targets Application in Aircraft Maintenance," <https://engine.vuforia.com/case-studies/avatar-partners.html> Erişim tarihi: 11.Ocak.2020.
- Avionics International, "9 Companies Using Augmented and Virtual Reality in Aviation," <https://www.aviationtoday.com/2017/08/24/9-companies-using-augmented-virtual-reality-aviation/> Erişim tarihi: 01.Aralık.2021.
- Air France Industries, "An "augmented" training experience at AFI KLM E&M," <https://www.afiklmem.com/en/press-release/2111-2019-training-experience> Erişim tarihi: 28.Ocak.2020.
- Civil Aviation Training Magazine, "Evolution Not Revolution, Volume, 31-34, 2019
- Vision, "Virtual Reality Training Being Used to Cut Maintenance Time by 75%," <https://vrvisiongroup.com/virtual-reality-training-being-used-to-cut-maintenance-time-by-75/> Erişim tarihi: 01.Aralık.2021.

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF HELICOPTER DOWNWASH/SHIP AIRWAKE INTERACTION FLOWFIELD

Hüsamettin Alperen ALABAŞ, Yavuz NACAĞLI

INTRODUCTION

There are problems specific to the helicopter/ship dynamic interface that limit helicopter operations and cause difficulty associated with landing on a moving platform. Significant factors affecting such operations include visibility, ship motion and aerodynamic interactions of the helicopter with the turbulent airflow near the ship. Associated large velocity gradients and areas of turbulence are limiting operations of helicopter flight onto and from the decks of frigate type air capable ships. For this reason, overcoming the problems that the helicopter encounters as it lands and takes off requires the airflow around the ship and through the helicopter rotors to be well-understood. Ship dynamics, the ship induced airwake, and the aircraft/ship interaction strongly affect the processes such as helicopter takeoff from and landing on shipboards (Bridges et al., 2007). Helicopter shipboard operations impose flight envelope restrictions on the rotorcraft due to a harsher environment. This environment also includes ship airwake caused by ship motion, superstructure, and a respectively smaller landing area. A detailed knowledge of the airflow around the ship and the vicinity of the helicopter rotors are necessary to understand the problems associated with helicopter takeoff and landing. The airwake of the ship includes the region of separated flow on the lee side of the ship's superstructure and hangar door. This region contains steep spatial gradients in flow speed and direction and also contains significant unsteadiness over the bandwidth of concern with respect to handling qualities 0.2-2 Hz (Lee et al., 2013). These characteristics typically have a negative impact on helicopter handling qualities. The time-averaged and unsteady flow phenomena can influence the rotor-generated loads and lead to increased pilot workload (Zan et al., 1994).

NUMERICAL METHOD OF SOLUTION

METHODOLOGY

A four-bladed, 10x6 propeller was used to represent the helicopter rotor to determine the rotor thrust coefficient and the rotor downwash. For the propeller geometry, profiles used from 10 different stations to the root were

taken from the manufacturer. According to these profiles, a 3D propeller model was created in a computer-aided design program. Rotor in isolation was run at freestream velocities range from 0 to 5,14 m/s in hover at rotor rotational speed of 5000 rpm to get the thrust coefficient value. A 2 % simple frigate shape (SFS) model was used to examine the ship's airwake. Although the SFS does not fully reflect the antenna, weapon systems, radar and similar geometries on real ship platforms, it has been demonstrated by experimental studies that the turbulent flow on the deck can be adequately captured (Zan et al., 1994). Isolated frigate simulation was carried out at a freestream velocity of 5.14 m/s at a rotational speed of 5000 rpm in order to give an advanced ratio of 0.075 which replicates a full-scale frigate cruising speed of 60 km/h at 0° deck wind angle.

VALIDATION OF THE METHODOLOGY

ROTOR IN ISOLATION ANALYSIS

In order to determine the validity of the CFD analysis, it is necessary to compare the results with the experimental studies in the literature, and the study of Nacaklı was chosen to determine the accuracy of the CFD simulation to be performed within the scope of this study (Nacaklı, 2010). Propeller and simplified frigate geometry used in the wind tunnel tests and PIV experiments were modeled in computer aided design. Each of PIV velocity field is a time average of 150 images sampled at approximately 3.5 Hz. Vector plots reveals relative velocity magnitudes and direction. Each image represents approximately 24 rotor revolutions at 5000 rpm. All cases are for zero yaw (WOD azimuth = 0 deg), rotor at 5000 rpm, and advance ratio of 0.075 (Nacaklı et al., 2012).

In the sliding mesh method, a rotating volume has to be defined in order to give a rotational motion to the rotor and therefore the disk geometry and hybrid mesh structure in Figure 1 is formed around the rotor.

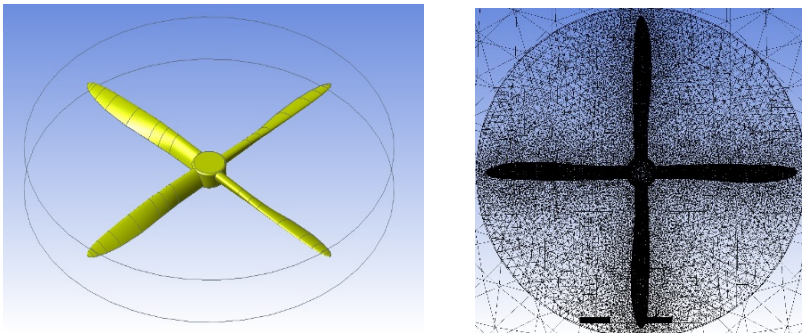


Figure-1. Disk volume and mesh of rotor

Achieving sufficient precision of the speed and pressure variables through the structured mesh on the rotor blade and the vicinity of the rotor is crucial to the success of the simulation. For this reason, the boundary layer was applied around the rotor blade. Thickness of the first layer with these expressions was found to be 5.10^{-5} mm. This thickness together with 1.1 growth rate, 10 boundary layers are created for a blade and hub which close-up view is given in Figure 2.

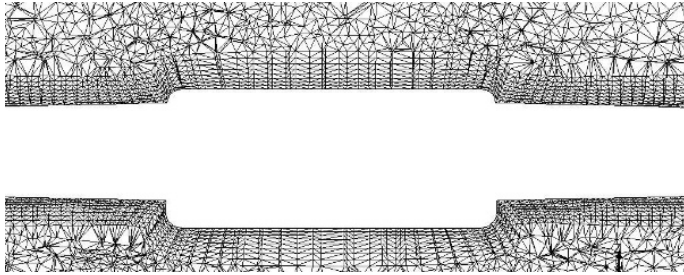


Figure 2. Close-up view boundary layer

Simulations performed with freestream velocities of $V_{\infty} = 0$ and $V_{\infty} = 5.14$ m/s in order to get advance ratios of 0 and 0.075, respectively. The turbulence intensity of the wind tunnel is 0.2% which used for validation of this study. The standard $k-\epsilon$ turbulence model was selected along with improved wall behavior, and the energy equation was included in the solution of the pressure-based and incompressible flow solver. In order to implement the sliding mesh method, the disk volume was given a 5000 rpm rotation in the counter clockwise direction.

Thrust coefficient calculated via the rotor thrust force obtained from simulation results, rotor area and rotor speed. Table 1 shows the differences between the number of elements of the mesh structure and the thrust coefficients obtained with the experimental data.

Table 1. Comparison of mesh element numbers

Mesh Density	Number of Elements (million)	Thrust Coefficient Difference (%)
Coarse	1.9	21.25
Normal	3.6	2.97
Fine	4.8	8.08

The results show that the mesh density of 3.6 million cells is consistent with the wind tunnel result in the literature. It is aimed to find the closest coefficient of thrust for isolated rotor analysis with the determined mesh

structure, zero free flow velocity ($J=0$) and 5.14 m/s free flow velocity ($J=0.075$) conditions, for the Spalart-Allmaras and Standard $k-\epsilon$ turbulence models. The comparison of the obtained values with the data in the literature is shown in the Table 2.

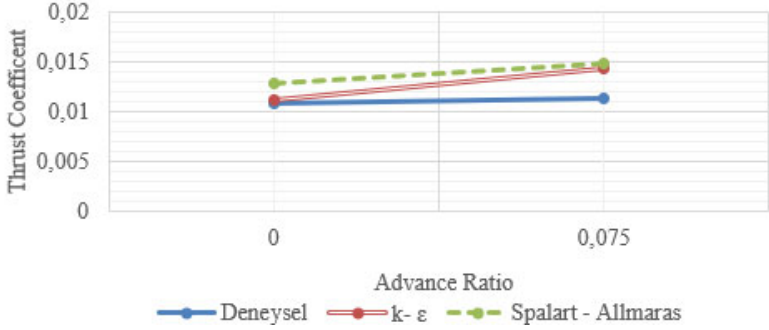


Table 2. Comparison of thrust coefficients according to turbulence models

SHIP GEOMETRY

Simplified frigate geometry, commonly encountered in the literature, was used to represent the ship's platform. The model omits geometric details, instead favouring a simple sharpened edged, backward-facing step for minimum Reynolds number dependency. The shape captures the key feature of a frigate in that a landing deck is located downstream of the hangar door. The simplistic geometry allows for fundamental comparisons with CFD simulations (Zan et al., 1994). In this study, 1/50 scale model which is obtained from the experimental study in the literature was created to represent the ship geometry. An unstructured solution mesh was created on the surface of the ship. For a better capture of the flow image on the ship's deck, a more frequent mesh structure has been achieved by increasing the number of points on the lines forming the surfaces on the hangar and deck as shown as in Figure 3.

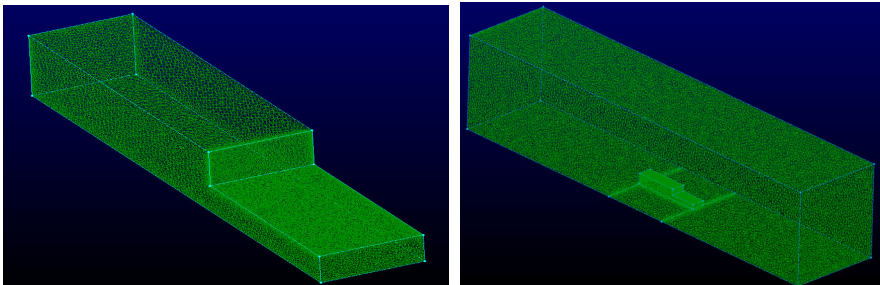


Figure 3. Mesh structure of ship surface and control volume

Width, length and height multipliers used for SFS2 have been preferred in the literature in order to ensure that the opposite wind reaches the ship properly and that the air directed by the ship does not affect the ship again (Orbay, 2016). Thus, the rectangular solution mesh in Figure 3, which is $2.5L$ in length, $7C$ in width and $12H$ in height, is formed in front of and behind the ship, with the length of the ship L , the width C and the height of the hangar H . In the isolated ship solution basin where 867 thousand cells were used, additional nodes were added to the region near the ship and the mesh was densified. All boundary conditions except the velocity inlet and pressure outlet surfaces are defined as walls. Since the ship geometry will be analyzed together with the rotor, Standard $k-\varepsilon$ turbulence model has been chosen for the simulation of isolated ship, too. As a result of the simulation, it is seen in Figure 4 that the velocity contour obtained from the deck are close to the experimental study results.

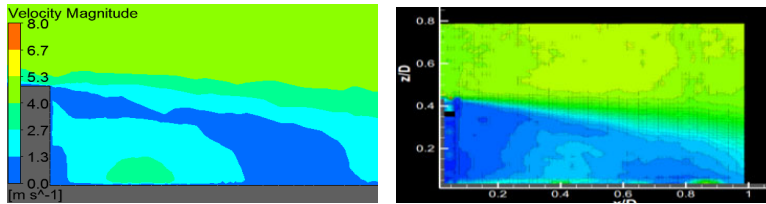


Figure 4. Comparison of CFD (left) and PIV (right) velocity contours

HELICOPTER DOWNWASH/SHIP AIRWAKE INTERACTION

In this section, the dynamic interaction of the flows around the geometries representing the rotor and the ship, whose dimensions and properties have already been stated, is examined. For this reason, the rotor geometry with rotational speed of 5000 rpm under 5.14 m/s freestream velocity was rotated at 9 different locations on the ship's deck to obtain thrust coefficient and flow image. A hybrid solution mesh of 2.7 million elements was created for rotor/ship interaction analysis. The mesh of the disc is positioned on the ship's deck according to the coordinates in which a significant change in thrust coefficient is detected as determined in the study of Nacaklı (Nacaklı, 2010). In the coordinates given in Table 3, the disc diameter (D) is taken as 10.6 inches to prevent the rotating volume from hitting the ship's hangar.

Table 3. Rotor locations

Ratio of Horizontal Distance of the Rotor to Ship Hangar Door to Disc Diameter (x/D)	0.5	0.5	0.5	1.1	1.1	1.1	1.7	1.7	1.7
Ratio of Vertical Distance of the Rotor from Deck to Disc Diameter (z/D)	0.25	0.55	0.75	0.35	0.55	0.75	0.35	0.55	0.75

Mesh of ship and rotor geometry to be used in the simulation of dynamic interaction were created in the same way as in isolated rotor and isolated ship analysis. Therefore, there has been no change of the number of elements in the disk volume and surface of the ship. On the other hand, the area between the disc and the deck of the ship is intensified to provide a more accurate flow image. The dimensions of the solution domain are the same as those of isolated ship analysis. It is aimed to reduce the solution time by reducing the number of elements in remote areas of the solution domain. Mesh to be used in the analysis of dynamic interaction is given in Figure 5.

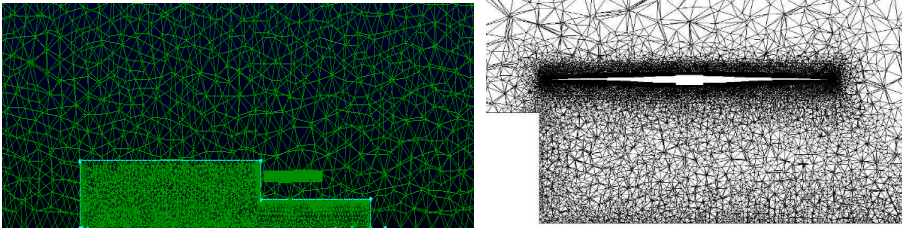
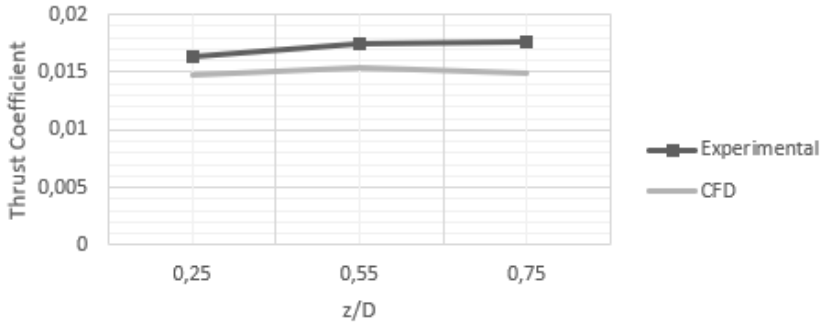


Figure 5. Mesh structure of ship-rotor interaction

Comparison of thrust coefficients obtained from simulations conducted at 3 different rotor heights for $x/D=0.5$ position with experimental study is given in Table 4.

Table 4. Comparison of thrust coefficients for $x/D=0.5$



When the rotor is below the top of the hangar door, the recirculation region has a powerful interaction with the rotor wake. The resultant rotor thrust is a product of several influences: the deleterious effect of reingestion, downwash, the relatively low streamwise flow components, and the positive influence of ground effect (Zan, 2002). The flow passing over the top of the

hangar turns downward with the downwash effect of the rotor and recirculation zone and continuous downstream to the stern of the ship. The recirculation zone appears to be smaller and stronger than that of the ship in isolation.

An increasingly larger recirculation zone develops behind the hangar door with increasing rotor height above the deck. Figure 5 presents a sample of the flow field PIV survey results (Nacaklı et al., 2012). In general, the effect of the rotor on the recirculation zone, which exists aft of the hangar, eventually decreases with increasing vertical distance above the landing deck. Recirculation zones are inherently unsteady and thus give rise to the unsteady component of the airwake. As the rotor height increases to a level above that of the hangar door, the thrust coefficient increases due to the increased streamwise flow contribution (Wakefield et al., 2002).

The velocity contour for both PIV and CFD study are given in Figure 5. When compared with the velocity contour in Figure 5 of the experimental study in the literature, it was found that the flow nature was successfully captured. The thrust coefficient is increased with the increase of the freestream flow acting on the rotor rotated at the same distance from the ship hangar horizontally but at a higher position vertically ($x/D=0.5$; $z/D=0.55$). According to the flow images, when the rotor rises from the deck, the rotation area also increases.

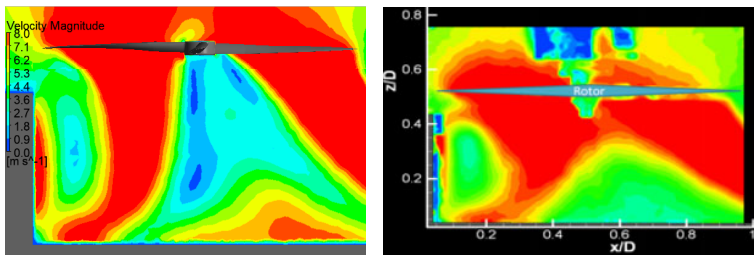


Figure 5. Comparison of CFD (left) and PIV (right) velocity contours ($x/D=0.5$; $z/D=0.55$)

In this location where the rotor is behind the ship's hangar, a strong interaction of the rotor downwash with the recirculation zone is observed. It is understood that the thrust is increased due to the ground effect, although the rotor downstream re-enters the rotor.

Comparison of thrust coefficients obtained from simulations conducted at 3 different rotor heights for $x/D=1.1$ position with experimental study is given in Table 5, and when the comparison is taken into consideration, it is understood that the trend of thrust coefficient can be captured.

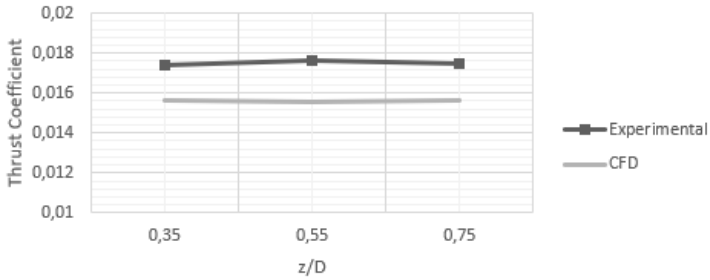


Table 5. Comparison of thrust coefficients for x/D=1.1

The velocity contour for rotor position of $x/D = 1.1$; $z/D = 0.35$ for both PIV and CFD study are given in Figure 6, respectively. The results obtained are consistent with the velocity contours obtained from the experimental study. When the rotor moves from the hangar door to the stern of the ship, it is seen that the stagnation line moves along the horizontal axis.

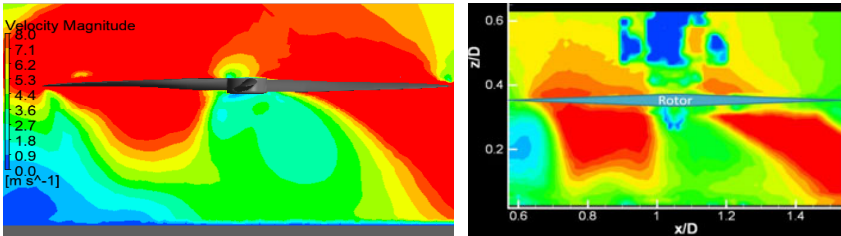
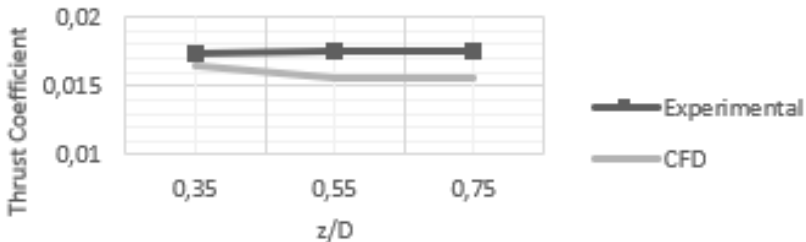


Figure 6. Comparison of CFD (left) and PIV (right) velocity contours ($x/D = 1.1$; $z/D = 0.35$)

When the thrust coefficient comparison is examined for $x/D=1.7$ position which is given in Table 6, it is seen that the thrust tendency trend can be captured in the simulations at three different heights made for the farthest position of the rotor on the horizontal axis.

Table 6. Comparison of thrust coefficients for x/D=1.7



The velocity vectors and velocity contour for rotor position of $x/D = 1.7$; $z/D = 0.75$ for both PIV and CFD study are given in Figure 7. The results obtained are consistent with the velocity contours obtained from the experimental study. In this position of the rotor, it is seen that the recirculation region is formed on the deck and the effect of the downwash of the rotor decreases as it moves away from the deck.

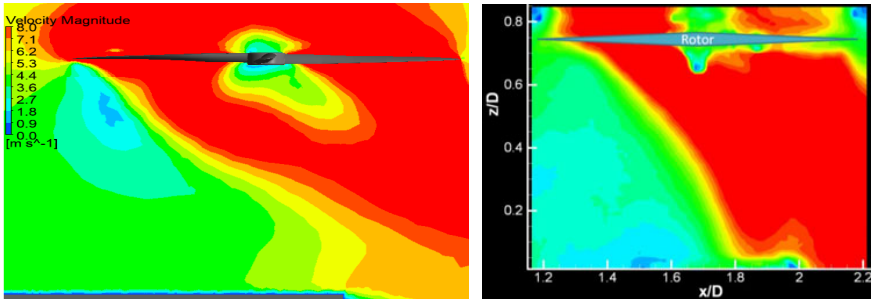


Figure7. Comparison of CFD (left) and PIV (right) velocity contours ($x/D = 1.7$; $z/D = 0.75$)

RESULTS

Helicopter operations on the ship become very challenging for pilots by adding flow directed by the helicopter rotor to the turbulent flow created by the ship's superstructure on the deck. Therefore, it is very important to understand the interaction of the flow around the helicopter rotor with the ship's airwake. In this study, isolated rotor geometry at two different advance ratios was investigated with $k-\varepsilon$ and Spalart-Allmaras turbulence models in hybrid mesh structure. The results obtained from time-dependent simulations were compared with PIV and thrust coefficient data in the literature. Although the Spalart-Allmaras turbulence model gives a more consistent velocity distribution for the lower region of the isolated rotor with PIV images, it is considered that it does not capture pressure gradients well for the thrust coefficient. Isolated ship simulation was performed with $k-\varepsilon$ turbulence model under freestream velocity of 5.14 m/s given at 0° wind on deck angle to represent cruise speed. The flow contour was compared with the PIV images in the literature. It has been seen that the basic features of turbulent air caused by ship's superstructure can be successfully reflected. In the simulations performed for unsteady $k-\varepsilon$ turbulence model, the flow separation in the rotor downwash results in less ground effect and therefore lower thrust coefficient for rotor conditions under ship airwake than in the experimental study. This also increases the recirculation zones on the deck. In addition, where the rotor is in close proximity to the ship's deck, the

thrust coefficient difference with the experimental study decreases and the similarity between the flow images increases. In this study using sliding mesh method, the distances between the ship deck and the rotor were slightly higher than the experimental study due to the size of the disk volume created for rotor rotation. This situation is considered to increase the differences in thrust coefficient and flow images. On the other hand, when the thrust coefficients obtained for 9 different rotor locations are examined, it is seen that dynamic interaction and ground effect can be determined and the propensity of the thrust coefficient in the experimental study can be captured.

REFERENCES

- Bridges, D.O., Horn, J.F., Alpmann, E. and Long, L.N. (2007), "Coupled Flight Dynamics and CFD Analysis of Pilot Workload in Ship Airwakes", AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, Hilton Head South Carolina.
- Lee, R.G., and Zan, S.J. (2013), "Wind Tunnel Testing of Unsteady Loads on a Helicopter Fuselage in a Ship Wake", 23rd Congress of the International Congress of the Aeronautical Sciences, Toronto, Canada.
- Zan, S.J., and Gary, E.A. (1994), "Wind Tunnel Measurements of the Airwake Behind a Model of the Generic Frigate", NRC-IAR-LTR-AA.
- Nacaklı, Y. (2010), "Analysis of Helicopter Downwash/Frigate Airwake Interaction Using Statistically Designed Experiments", Ph.D. Th., Old Dominion University, USA.
- Nacaklı, Y., Landman, D. and Doane, S. (2012), "Investigation of Backward-Facing-Step Flowfield for Dynamic Interface Application", Journal of the American Helicopter Society, 57(3), pp.1–9.
- Orbay, E. (2016), Computational Fluid Dynamics Simulations of Ship Airwake with a Hovering Helicopter Rotor (yüksek lisans tezi), ODTÜ,
- Wakefield, N.H., Newman, S.J., and Wilson, P.A. (2002), "Helicopter Flight Around a Ship's Superstructure", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal Aerospace Engineering, 216, pp.13
- Zan, S.J. (2002), "Experimental Determination of Rotor Thrust in a Ship Airwake", Journal of the American Helicopter Society, 47(2), pp.100–108.

ULTRASONİK DALGA SAÇINIMLARIYLA GERÇEK ZAMANLI YAPI SAĞLIĞI İZLEME

Mehmet Arda ÖZDEN, Mahmut PEKEDİS

GİRİŞ

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, mühendislik yapı ve sistemlerinin kendilerine özgü bir sensör ağlarının olabileceği düşüncesi oluşmuştur. Kendisine özgü sensör ağı olan bir yapı veya sistemde, malzeme veya enerji kullanımının daha verimli olabileceği ve ilgili bakım işlemlerinin sadece gerekli zamanlarda yapılabileceği düşünülmektedir. Biyomedikal alanda yapılan araştırmalar sonucunda, insan derisinin çok küçük bir kısmında basınç ve sıcaklık gibi etkileri algılayıp sensör görevi gören binlerce sinir hücresi bulunmaktadır. Bu hücreler insanın çevresi ile ilgili etkileşimi hakkındaki bilgileri devamlı olarak alıp insan beynine iletirler. İnsan sinir sistemine benzer şekilde modellenmiş elektronik bir sensör sistemi ile inşaat yapılarından gemi veya uçaklara kadar tüm mühendislik yapılarının sağlığı konusunda bilgi veren sistemlere "Yapı Sağlığı İzleme" (Structural Health Monitoring / SHM) adı verilmektedir (Farrar & Worden, 2013; Pekedis, 2021). Özellikle uçak yapılarındaki kompozit aksamlarının hasar durumlarının değerlendirilmesinde YSİ teknikleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi ultrasonik tabanlı YSİ'dir. Bu tekniğin en çekici özelliği, ultrasonik dalgalar çok uzun mesafeye hızlı hareket ettiklerinden, levha ve kabuk gibi geniş ve düzgün yüzeylere sahip yapıların teşhisine olanak tanımasıdır. Bu teknikte Lamb dalgalarından yararlanılarak hasar teşhisleri yapılır. Bu dalgalar katı küre veya plakalarda ilerleyen bir çeşit elastik dalgadır. İlk olarak Horace Lamb tarafından ortaya atılmış ve incelenmiştir (Lamb, 1917). Bunların pratikte kullanımı ise 1990'larda, cihazların hassasiyetinin ve bilgisayarların hesaplama kapasitesinin artmasıyla başlamıştır. Lamb dalgaları yönlendirilmiş dalga olması nedeni ile yapı sağlığı izleme alanında kullanılmaktadır.

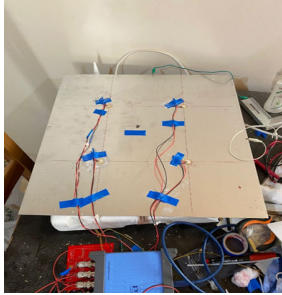
Guo ve Cawley tarafından yapılan bir çalışmada Lamb dalgalarının kompozit plakalarda oluşmuş delaminasyon durumunda nasıl davrandığını incelenmiştir (Guo & Cawley, 1993). Çalışma sonucunda delaminasyonun konumunun, Lamb dalgaları ile bulunabildiği gösterilmiştir. Lamb dalgalarının uzun mesafelerde hasar tespiti amacıyla kullanımı, Cawley ve Alleyne tarafından araştırılmıştır (Cawley & Alleyne, 1996). Çalışmada kompozit plaka ve çelik boru kullanılmıştır. Genel olarak oluşturulan dalganın maksimum değeri

yayılm süresince ortam gürültüsüne yakınlaşmaktadır. Bu sebeple uyarımda kullanılan sinyalin maksimum sinyal-gürültü oranına sahip olmasının gerekliliği açıklanmıştır. Fakat Lamb dalgaları farklı kalınlıklarda farklı sinyal gürültü oranına sahip olacağı için bu durum Lamb dalgaları ile yapılacak bir yapı sağlı izleme sisteminin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Wan ve arkadaşları tarafından Lamb dalgalarının ince bir plaka üzerinde mikro çatlaklar bulunması durumundaki davranışı nümerik simülasyonlarla incelenmiştir (Wan et al., 2014). Çalışmalarında genel olarak hasarın konumu değil mikro çatlakların varlığı durumunda, hasar bölgesine çarpıp dağılan dalganın oluşturduğu farklı frekanslardaki bileşenler hızlı Fourier dönüşümü ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda mikro çatlaktan dağılarak yansıyan dalgaların şiddetinin, çatlağın boyutuna göre lineer olmadığı açıklanmıştır. Hasar yorumlamasının efektif olarak yapılabilmesi için alınan sinyallere özgü güçlü matematiksel araçlar, özellikle etkili sinyal işleme stratejilerinin geliştirilmesi gerekir. Literatürde ön işlemlerde, sensörlerden alınan veriler üzerinde sinyal işleme tekniklerinin uygulanması ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı görülmüştür (Rose, 2002; Raghavan et al., 2005; Staszewski et al., 2004). Bu tekniklerde, zaman frekans dönüşümleri, kısa zamanlı Fourier dönüşümleri (Osseguda et al., 2003), Wigner Ville dağılımları (Prosser et al., 1999; Raghavan et al., 2007), Hilbert Huang dönüşümleri (Osseguda et al., 2003; Salvino, 2005) gibi birçok sinyal işleme metotlarının kullanıldığı görülmüştür. Bunun yanında sinyallerdeki gürültünün azaltılması için, dalgacık dönüşümünden ve özellik çıkartma algoritmalarından yararlandığı görülmüştür (Staszewski, 2004). Bu çalışmanın amacı piezoelektrik aktüatör ve sensörler ile gerçek zamanlı bir yapı sağlığı izleme tekniği geliştirmektir. Çalışma hasar içeren alüminyum plakalar üzerinde incelenmiştir.

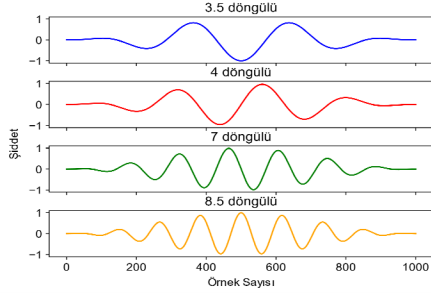
MATERYAL VE METODLAR

Lamb dalgalarının plakadaki davranışını tespit etmek için iki farklı düzenek ele alınmıştır. Düzeneklerde kullanılan plakalar 1050 H14 serisi alüminyumdur. Bu malzemenin elastisite modülü 69 GPa ve yoğunluğu ise 2775 kg/m³ tür. Kullanılan plakalar 1 mm kalınlığında ve 500 mm eşit kenar uzunluğuna sahip kare şeklindedirler. Piezo diskler (PZT) plakaya yapıştırıcı kullanılarak iliştilmiştir. Piezo disklerin plakaya temas eden kısımları toprak, üst kısımları ise sinyal ucu olarak BNC konnektör ile osiloskopa bağlanmıştır. Ayrıca plaka farklı noktalardan topraklanmıştır. Titreşimden dolayı piezo disklerin oluşturduğu voltaj farkının gözlemlenebilmesi için PicoScope 4024 model 8 kanallı dijital osiloskop kullanılmıştır. PicoScope 4024, 12 bit hassasiyete sahip 8 kanala sahiptir. Senkronize olarak saniyede 80 milyon örnekleme gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca osiloskopun içinde maksimum 1

MHz frekansa sahip rastgele dalga üretici (Arbitrary Waveform Generator / AWG) bulunmaktadır ve bu çalışmada aktüatörün uyarılmasında kullanılmıştır. Sensörler osiloskopun A ve B kanallarına bağlanarak, bu kanallar ± 20 mV aralığında ölçüm alınacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca aktüatörün bağlı olduğu sinyal üreticinin çıkışı T tipinde BNC konektör kullanılarak çoğaltılmış ve tetiklemenin yapılabilmesi için osiloskopun H kanalına bağlanmıştır. H kanalı ± 5 V aralığında ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan bütün kanallar saniyede 80 milyon örnek alacak şekilde düzenlenmiştir. Toplam ölçüm süresi 500 μ s'dir ve bu süre boyunca kullanılan her kanaldan 40000 örnek alınmıştır. Aktüatör olarak kullanılan PZT, ± 2 volt aralığında uyarılmıştır. Deneysel çalışmada iki farklı düzenek kullanılmıştır. Düzenek 1 Lamb dalgalarının genel özelliklerinin belirlenmesi ve uygun filtreleme yönteminin seçilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Düzenek 2 ise hasar tespiti için tasarlanmıştır. Geliştirilen deneysel test sistemi Şekil 1a'da verilmiştir. Bu çalışmada, farklı döngülerde uyarım sinyalleri (Hanning Windowed Tone Burst şeklinde) oluşturularak plaka aktifleştirilmiştir (Şekil 1b) .



(a)

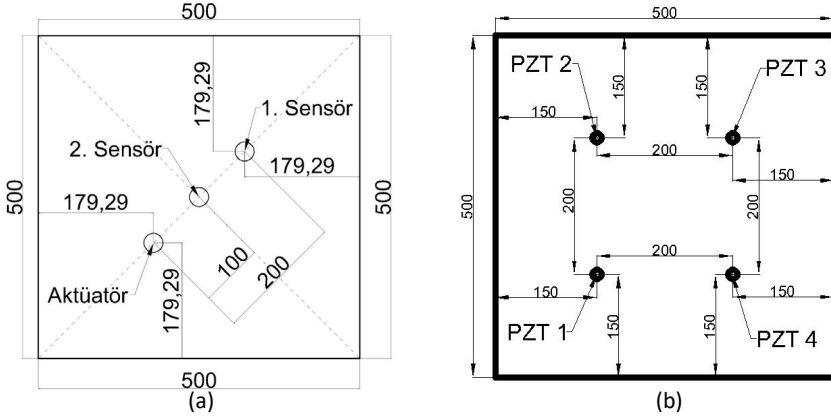


(b)

Şekil 1. Test sistemi ve uyarım sinyalleri. (a) Deneysel test sistemi, (b) Kullanılan sinyalin farklı döngü sayılarında gösterimi

DÜZENEK I

Düzenek 1, Lamb dalgalarının yayılımını belirlemek amacıyla kurulmuştur. Düzenek 1 kullanılarak alınan veriler yorumlanıp düzenek 2'de uygulanacak yöntemler (filtreleme yöntemi, uyarıcı dalga frekansının seçimi vb.) belirlenmiştir. Bu düzende sensör ve aktüatörlerin yerleşimi Şekil 2a'de verilmiştir. Aktüatör ve birinci sensör arasındaki mesafe 200 mm'dir. Aktüatör ve ikinci sensör arasındaki mesafe ise 100 mm'dir. Dolayısıyla ikinci sensör için toplam dalga uçuş süresi, birinci sensörün yarısı çıkmalıdır. Bu şekilde ölçüm ve pozisyonlamanın doğrulanması amaçlanmıştır.



Şekil 2. Aktüatör ve sensörlerin yerleşimi. (a) Düzenek I, (b) Düzenek II (Uzunluklar mm cinsindedir)

S0 ve A0 modlarındaki dalgaların rahat gözlemlenebilmesi için aktüatör ve sensör arasındaki mesafe yüksek olmalıdır. Fakat bu mesafe artırdıkça kenarlara yaklaşılmakta ve S0 modundaki yansıyan dalgalar sensöre doğrudan gelen A0 dalgasından daha önce veya aynı anda gelmektedir. Bu durum S0 ve A0 dalgalarının seçilmesini zorlaştırmaktadır. Yansımalarından oluşan dalgaları azaltmak için PZT disklerin kenar bölgelerden uzak tutulmasında fayda vardır. Aynı zamanda doğrudan gelen S0 dalgasının A0 dalgası ile karışmaması için sensör ve aktüatör birbirlerine mümkün olduğunca uzak yerleştirilmelidir. Bu sebeple aktüatör ve sensörler kare plakanın diyagonaline yerleştirilmiştir.

DÜZENEK II

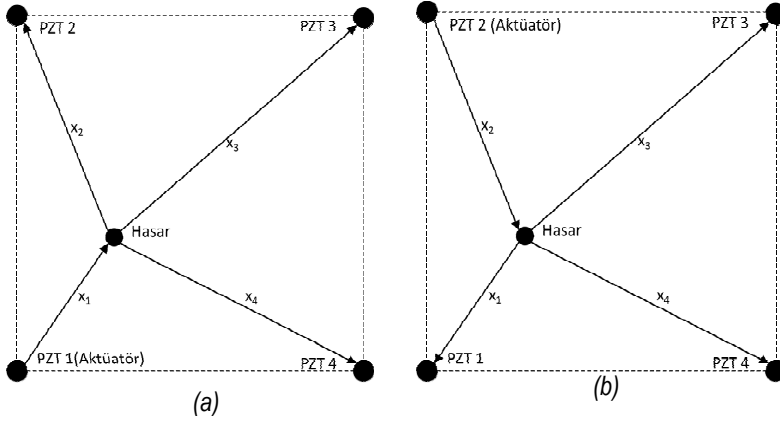
Bu düzenek, Lamb dalgalarının düzenek 1'de seçilen yöntemler kullanılarak, hasarın varlığında nasıl davrandığını belirlemek için oluşturulmuştur. Düzenek 2'de dört adet PZT disk kullanılmıştır. İlk olarak bu PZT disklerden bir tanesi aktüatör olarak kullanılmış ve diğer üç PZT diskten veri alınmıştır. Uyarım için kullanılan PZT disk röle yardımı ile değiştirilerek, aynı işlem bütün PZT diskler teker teker aktüatör olarak kullanılacak şekilde tekrarlanmıştır. Şekil 2b'de PZT disklerin, alüminyum plaka üzerine yerleşimi verilmiştir.

Uyarım sinyali, düzenek 1'de seçilen 200 kHz frekanslı 4 döngülüdür. Sinyal filtrelemede düzenek 1'de en uygun olduğu belirlenen bant geçiren filtre yöntemi kullanılmıştır. Düzenek 2'de, öncelikle plakada hasarın olmadığı sağlıklı

durumda ölçümler yapılmış sonrasında 10 mm'lik matkap ucu ile delik açılıp hasar oluşturulmuştur. Sonra sağlıklı durumla hasarlı durum karşılaştırılmıştır.

HASAR TESPİT ALGORİTMASI:

Hasar noktasının konumunun tespitinde, hasarın en az iki PZT diske, tek çözüm istenildiği takdirde ise üç PZT diske olan uzaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Böylece aktüatörden yayılıp ve hasardan yansiyarak gelen dalganın aldığı toplam yolun belirlenmesi gerekir. Şekil 3'te farklı PZT diskler aktüatör olduğu durumda aralarındaki uzaklıklar x_1 , x_2 , x_3 ve x_4 olarak verilmiştir.



Şekil 3. Farklı PZT disklerin aktüatör olması durumundaki mesafeler. (a) 1'nci disk PZT olarak kullanıldı, (b) 2'nci disk PZT olarak kullanıldı

Birinci PZT disk aktüatör olduğu durumda kurulabilecek bağıntılar denklem 1'de verilmiştir. Burada sadece yansıyan dalganın aldığı toplam yollar olan r_{12} , r_{13} ve r_{14} değişkenleri bilinmektedir. Bu durumda sadece birinci PZT disk aktüatör olarak kullanıldığında toplam dört bilinmeyenli üç denklem ortaya çıkmaktadır.

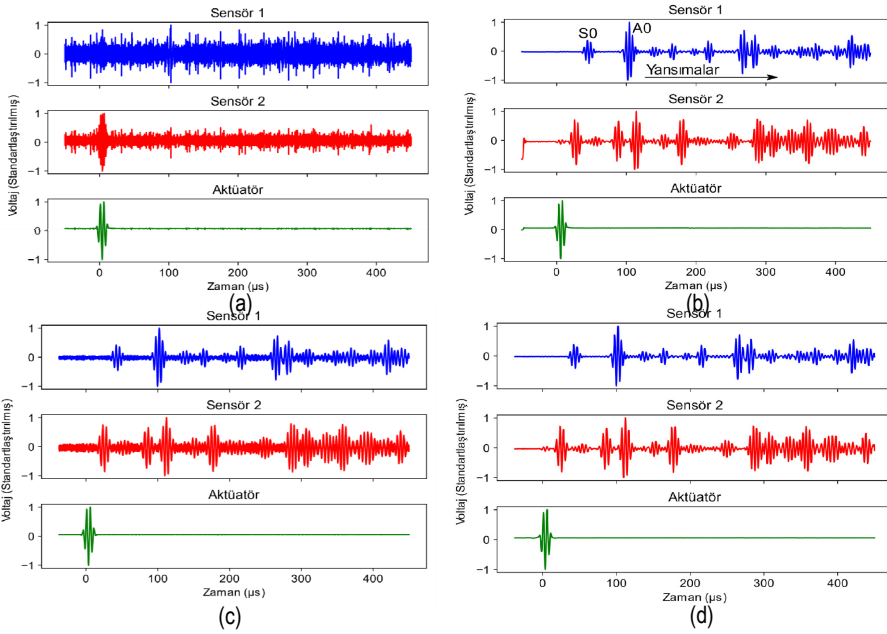
$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= r_{12} \\ x_1 + x_3 &= r_{13} \\ x_1 + x_4 &= r_{14} \end{aligned} \quad (1)$$

İkinci PZT disk aktüatör olduğu durumda bulunması gereken uzaklıklar Şekil 3b'de gösterilmiştir. Bu durumda elde edilen denklem takımı aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} x_2 + x_1 &= r_{21} \\ x_2 + x_3 &= r_{23} \\ x_2 + x_4 &= r_{24} \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2 kullanılarak dört bilinmeyenli altı denklem elde edilmektedir. Burada r_{12} ve r_{21} değerleri teorik olarak aynı çıkmalıdır. Fakat gerçekte ölçüm hassasiyetinden ötürü alınan değerler farklıdır. Geliştirilen sistem ilk olarak, herhangi bir PZT disk aktüatör olduğunda, diğer üç PZT diskin iki tanesini sensör olarak kullanarak bir ana denklem takımı oluşturmaktadır. Sonrasında, sensör olarak kullanıldığı bir adet PZT diski aktüatör yapıp diğer sensör ile bir yardımcı denklem takımını oluşturup ana denklem takımı çözülür. Bu şekilde ortaya 24 farklı çözüm kombinasyonu çıkmaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR: DÜZENEK I SONUÇLARI



Şekil 4. Sensörlerden elde edilen sinyaller. (a) Filtrenmemiş, (b) Alçak geçiren filtre ile filtrenilmiş, (c) Sürekli dalgalık dönüşümü ile filtrenilmiş, (d) Ayrık dalgalık dönüşümü ile filtrenilmiş

Sensörlerden ve sinyal üreticinin çoğaltılmış çıkışından alınan filtrenmemiş sinyal ± 1 aralığında standartlaştırılıp Şekil 4a'da verilmiştir. Görüldüğü üzere sinyaller filtrenmediği durumda anlaşılır değildir. Şekil 4b, 4c

ve 4'de farklı yöntemler uygulanarak elde edilen filtrelenmiş sinyaller verilmiştir. Kesme frekansı, sinyal frekansının 2 katı olacak şekilde 400 kHz olarak seçilmiştir. Görüldüğü üzere S0 ve A0 modundaki dalgalar grafik üzerinde anlaşılabilir.

Uyarıcı sinyalde kullanılacak uygun döngü sayısının belirlenmesi amacıyla, aktüatör 200 kHz frekansta farklı döngü sayılarına sahip sinyaller ile uyarılmıştır. Sinyal bant geçiren filtre (BGF) ile filtrelenmiştir. Tablo 1'de farklı döngü sayılarında ölçülen ortalama uçuş süreleri ve ilgili standart sapmalar verilmiştir. Görüldüğü üzere 4 döngüye sahip sinyal ile yapılan ölçümlerin arasındaki standart sapma, diğer döngü sayılarına sahip sinyaller ile yapılan ölçümlerin arasındaki standart sapmalardan daha düşüktür. Bu sebeple bundan sonraki aşamalarda 4 döngülü sinyal kullanılacaktır.

Tablo 1. Farklı döngü sayılarında ölçülen ortalama uçuş süreleri

Sinyal Döngü Sayısı	Ort. Uçuş Süresi(μ s)	Standart Sapma (μ s)
3.5	39.0731	0.0541
4	39.5200	0.0275
7	38.6766	0.1746
8.5	38.9622	0.0715

Filtreleme yöntemi seçiminde, Lamb dalgasının yayılma hızının belirlenmesi için tepe noktalarının doğru şekilde tespit edilebilirliği önem teşkil etmektedir. Bu sebeple doğru filtreleme yönteminin seçimi için, aktüatör 4 döngülü 200 kHz sinyal ile uyarılarak her bir yöntem için 10'ar adet veri alınmış ve tepe noktaları bulunarak, S0 yayılma hızlarının ölçümünün tekrarlanabilirliği hesaplanmıştır. Tablo 2'de görüldüğü üzere, farklı ölçümlerde S0 dalgasının uçuş süresinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler arasında, en düşük standart sapmaya sahip yöntem BGF'dir.

Tablo 2: Farklı ölçümlerde filtreleme yöntemine göre uçuş süreleri

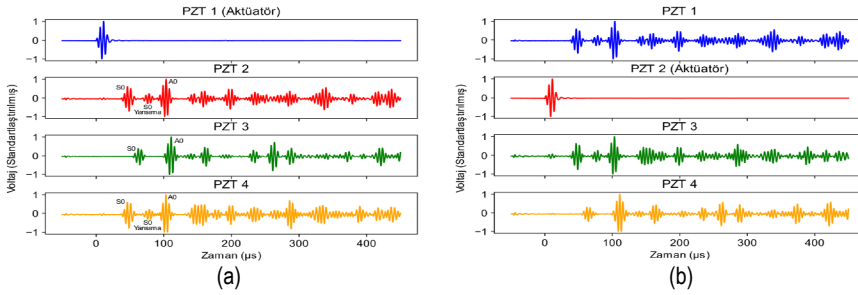
Filtreleme tip	Ort. Uçuş Süresi(μ s)	Standart Sapma (μ s)
Alçak geçiren	39.0075	0.2260
Bant geçiren	39.2337	0.0687
Sürekli dalgacık dönüşümü	39.3137	0.0942
Ayrık dalgacık dönüşümü	39.1012	0.1778

Denenen filtreleme yöntemlerinden alınan sonuçlar incelendiğinde en az işlem gücü gerektiren filtreleme yönteminin alçak geçiren filtre olduğu görülmüştür. Bant geçiren filtrede ise ölçümler arasındaki standart sapma

daha düşük çıkmıştır. Bu nedenle ilerleyen aşamalarda bu filtreleme tekniği kullanılmıştır.

DÜZENEK II SONUÇLARI

Şekil 5'te ise sağlıklı durum için elde edilen filtrelenen sinyaller verilmiştir. Şekil 5a'da görüldüğü üzere aktüatör olarak seçilen birinci PZT diske uzaklıkları eşit olan ikinci ve dördüncü PZT disklerden alınan veriler birbirine benzerdir. Ayrıca en uzakta bulunan üçüncü PZT diskten alınan sinyalde S0 dalgasının A0 dalgasına göre şiddetinin oranı diğer PZT disklerden alınan sinyallere göre daha fazla azalmıştır.



Şekil 5: Düzenek 2'den elde edilen filtrelenmiş sinyaller. (a) 1'nci PZT aktüatör olarak kullanıldı, (b) 2'nci PZT aktüatör olarak kullanıldı

Geliştirilen algoritma farklı kombinasyonlardan başarılı olarak bulunan çözümlerin ortalamalarını alarak x_1 , x_2 , x_3 ve x_4 mesafelerini hesaplamaktadır. Tablo 3'te, hasarlı durumda yapılmış farklı ölçümlerden elde edilen uzaklıklar ve bu uzaklıkların gerçek değerden farkları verilmiştir. Görüldüğü üzere hasarın konumu ile PZT disk arasındaki mesafe arttıkça, hata miktarı ve oranı da artmaktadır.

Hasar noktasının konumunun tespit edilmesinde, noktanın konumu belirli olan PZT disklere olan uzaklıkları kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmada merkezleri PZT disklerin konumu, yarıçapları ise hasarın PZT disklere olan uzaklığı olan üç çember kullanılarak hasarın konumu belirlenmiştir. Daha önce yapılan işlemlerde, hasarın dört adet PZT diske olan uzaklığı bulunmuştur.

Fakat konumu bulmak için sadece üç tane uzaklık kullanılmaktadır. Bu sebeple toplam 12 farklı çözüm elde edilmektedir. Hatalı ölçümlerden kaynaklanan aşırı yüksek veya düşük değerlerin sonucu etkilemesini önlemek için medyan değer alınmıştır. Hasarlı durumda alınmış rastgele 10 ölçüm kullanıldığında, hasarın x ve y eksenleri ve gerçek değerden farkları Tablo 4'te verilmiştir. Seçilen koordinat sisteminde, plakanın sol alt köşesi orijin olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3: Hasarlı durumda bulunan uzaklıklar

Ölçüm No	x ₁ (mm)		x ₂ (mm)		x ₃ (mm)		x ₄ (mm)	
	Bulunan	Fark	Bulunan	Fark	Bulunan	Fark	Bulunan	Fark
1	116.6	3.5	147.2	3.0	167.2	-2.5	149.7	5.5
2	111.8	-1.4	146.6	2.4	161.2	-8.5	150.6	6.4
3	99.9	-13.3	140.9	-3.3	165.1	-4.6	156.4	12.2
4	113.9	0.8	149.1	4.9	169.4	-0.3	147.6	3.4
5	112.1	-1.0	158.9	14.7	135.4	-34.3	138.0	-6.2
6	110.9	-2.3	150.5	6.3	166.9	-2.8	146.5	2.3
7	99.2	-13.9	139.8	-4.5	162.3	-7.4	157.3	13.1
8	110.0	-3.1	137.6	-6.6	143.8	-25.9	159.5	15.2

Tablo 4: Hasarlı durumda bulunan uzaklıklar

Ölçüm No	x (mm)		y (mm)	
	Bulunan	Fark	Bulunan	Fark
1	231.12	1.12	232.99	2.99
2	230.54	0.54	233.31	3.31
3	219.92	10.08	230.94	0.94
4	230.89	0.89	229.78	0.22
5	230.71	0.71	231.01	1.01
6	231.22	1.22	228.43	1.57
7	230.98	0.98	229.97	0.03
8	231.50	1.50	230.79	0.79
9	230.68	0.68	230.79	0.79
10	229.77	0.23	230.74	0.74
Ortalama	229.73	1.80	230.87	1.24

Tablo 4'te verildiği üzere yapılan ölçümlerde, x eksenindeki ortalama hata 1.8 mm, y eksenindeki ortalama hata ise 1.24 mm çıkmıştır. Buradan yola çıkılarak hasarın konumunun tespitinde iki eksendeki hatanın bileşkesi alınarak, yapılan ortalama hatanın 2.2 mm olduğu söylenebilir. X eksenindeki maksimum hata 10.08 mm ve y eksenindeki maksimum hata 3.31 mm'dir. Bu iki eksendeki hatanın aynı anda oluşma olasılığı göz önünde bulundurulursa, sistemin yaptığı maksimum hata 10.61 mm olarak kabul edilebilir. Sonuç olarak

geliştirilen Lamb dalga saçınımlarına dayalı gerçek zamanlı algoritmanın delik hasarlarının tespitinde kullanılabileceği görülmüştür. Ancak ilerleyen aşamalarda bu yaklaşımın gerçek bir mühendislik sistemine uygulanmasında fayda vardır.

KAYNAKÇA

- Cawley P. and Alleyne D (1996), The use of Lamb waves for the long range inspection of large structures, "Ultrasonics", Vol. 34, No. 2-5, 287-290pp.
- Farrar CR. and Worden K (2013), Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective, Wiley & Sons Ltd.
- Guo N. and Cawley P (1993), The interaction of Lamb waves with delaminationsin composite laminates, "The Journal of the Acoustical Society of America", Vol. 94, pp.2240-2246.
- Lamb H (1917) On waves in an elastic plate, "Proceedings of the Royal Society A Mathematical, Physical and Engineering Sciences", Vol. 93, No. 648, pp.114-128.
- Osseguda R, Kreinovich V, Nazarian S. and Roldan E, (2003), Detection of cracks at rivet holes in thin plates using lamb wave scanning, Proc SPIE, 5047:55-66.
- Pekedis M (2021), Detection of multiple bolt loosening via data based statistical pattern recognition techniques, "Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture of Gazi University", vol.36, no.4, pp.1993-2010,
- Prosser WH, Seale MD. and Smith BT (1999), Time frequency analysis of the dispersion of Lamb modes. "J. Acoust Soc Am", Vol. 105, No. 5, pp.266 92676.
- Raghavan A. and Cesnik CES (2005) Finite dimensional piezoelectric transducer modeling for guided wave based structural health monitoring using laser vibrometry, part I and II. "Smart Mater Struc", Vol. 13, pp.251-269.
- Raghavan A. and Cesnik CES (2007), Guided-wave signal processing using Chirplet matching pursuits and mode correlation for structural health monitoring, "Smart Mater Struc", Vol. 16, No. 2 pp. 355-366.
- Rose JL (2002), A baseline and vision of ultrasonics guided wave inspection potential, "J Press Vessel Technol" , Vol. 124, pp.273-282.
- Salvino L, Purekar A. and Dines DJ (2005), Health monitoring of 2-D plates using EMD and Hilbert phase. In: Proceedings of the 4th International workshop on structural health monitoring, Stanford University, CA, USA.
- Staszewski WJ., Boller C. and Tomlinson G (2004) Health monitoring of aerospace structures, Smart sensors and signal processing, Wiley, Chichester.
- Wan X., Zhang Q, Xu G. and Tse P (2014), Numerical simulation of nonlinear lamb waves used in a thin plate for detecting buried micro-cracks, "Sensors", Vol.14, No.5, pp.8528-8546

HAVA ARACI BAKIM EĞİTİMİ KURULUŞLARINDA KULLANILMAK ÜZERE 3 BOYUTLU YAZICI KULLANARAK ROLLS ROYCE TRENT 700 YÜKSEK BYPASS ORANLI TURBOFAN GAZ TÜRBİNLİ MOTOR ÜRETİLMESİ

Cahit BİLGİ, Abdullah BÜLBÜL, Alperen DOĞRU

GİRİŞ

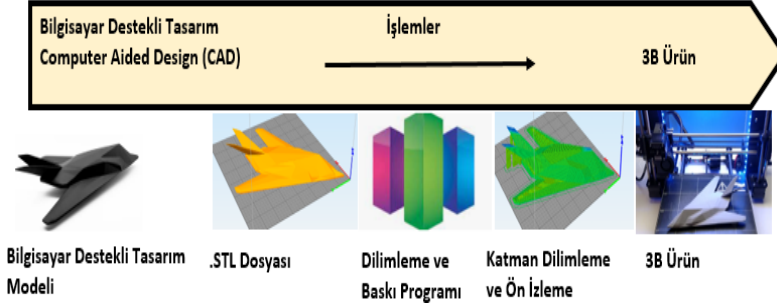
Dünya' da ve Türkiye' de sürekli gelişen havacılık sektöründe sürekli uçuşa elverişliliği sağlamak için kalifiye hava aracı bakım mühendislerine ve kalifiye hava aracı bakım teknisyenlerine ihtiyaç vardır. 60 milyar Amerikan Doları civarında olan hava aracı bakım pazarında oluşacak kalifiye personel ihtiyacını gidermek ve sektördeki yerini korumak için Türkiye' de birçok devlet üniversitesi ve vakıf üniversitesi iki yıllık veya dört yıllık uçak bakımı veya hava aracı bakımı ile ilgili bölümler açmıştır hatta bazı havayolları kendi akademileri kapsamında uçak bakım eğitimleri vermeye başlamıştır (Denizhan ve Doğru, 2017).

Türkiye' de eğitim veren hava aracı bakımı ile ilgili bölümler kalifiye öğrenci yetiştirebilmek için Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü' nün (SHGM) SHY-147 talimatında belirtilen gerekliliklerinde veya SHY-147 kapsamında tanınan okul gerekliliklerinde belirtilen ders müfredatı, öğretim elemanı, sınıf mevcudu, uygulama ve ekipman gibi şartları sağlamak zorundadır (SHGM, 2021).

Geliştirilen veya gelişmekte olan her yeni teknoloji gibi üç boyutlu (3B) baskılama teknolojisi prototip üretme, geometrik özgürlük, çevre dostu, zaman ve maliyet avantajlarından dolayı oldukça hızlı bir şekilde üniversitelerde, şirketlerde ve araştırma geliştirme laboratuvarlarında kullanılarak uçak ve roket yarışmalarında, otomotiv yedek parçalarında, biyomedikal sektöründe ve ders anlatımını kolaylaştıran eğitim amaçlı görsel materyal üretimlerinde kullanılmıştır (Aktimur ve Gökpinar, 2015).

Bilgisayar destekli tasarımları (İng. Computer Aided Design, CAD) 3B olarak imal etme teknolojisi katmanlı üretim teknolojisi olarak bilinmektedir, katmanlı üretimde malzeme ve gerekliliklere göre birçok üretim teknolojisi bulunmaktadır. Polimer malzeme üretiminde ise 3B yazıcı kullanımı oldukça yaygındır (Rafiq Noorani, 2021).

Catia, Solidworks, AutoCAD, Rhino3D gibi veya web tabanlı bilgisayar destekli tasarım programlarının kullanılarak bilgisayar ortamında hazırlanan tasarımlar STL formatında dışarı aktarılır, dilimleme ve baskılama programı yardımıyla 3B yazıcılar kullanılarak z ekseni (yükseklik ekseni) boyunca erimiş filamentli katmanlar şeklinde sererek nihai üretim gerçekleştirilmiş olur (Şahin ve Turan, 2018).



Şekil 1. 3B Yazıcı ile Katmanlı Üretim Süreci

Kaynak: Bilgi, 2019:21.

Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl düzenlenen SAE (Society of Automotive Engineers) organizasyonuna katılan Anadolu Üniversitesi havacılık bölümleri öğrencileri ATLAS ismini verdikleri gövde üstü iniş gerçekleştirilebilen, darbe sönümleyici ve 1.4 kg faydalı yük taşıyabilen insansız hava aracında (İHA) kanat riblerini ve bağlantı parçalarını 3B baskı yöntemi kullanarak üretmişlerdir;(Özbek vd., 2016). TÜBİTAK tarafından düzenlenen UAV 2017 de İÜÇ Uçak Teknolojisi Programı öğrencileri gövde üzerine iniş gerçekleştirilebilen 1.3 kg ağırlığında sabit kanat bir insansız hava aracının gövdesini ve kuyruk hareket aktarma ve bağlantı aksamalarını 3B yazıcı kullanarak üretmişlerdir (Bilgi, 2019).

Eklemeli imalat yöntemleri havacılıkta eğitim kuruluşlarında, insansız hava aracı üretimlerinde, hobi amaçlı havacılık faaliyetlerinde kullanılmaktadır ayrıca hava aracı parça üretici şirketler tarafından da prototip üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır(Goh vd., 2017) Askeri ve sivil uygulamalarda kullanılacak mikro insansız hava aracında 0.65 MPa basma gerilimine dayanabilen kafes giriş yapısında 3B baskı ile üretilen kanat kullanılmıştır (Moon vd., 2014).

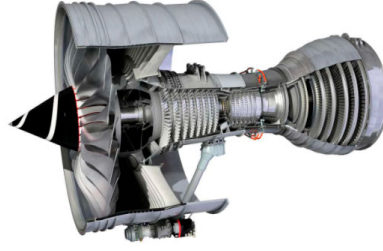
3B baskı ürünlerinin eğitsel kabiliyetinin daha fazla olduğu ve öğrenme sürecine farklı deneyim kazandırdığı görülmüştür özellikle fen, teknoloji,

mühendislik ve matematik (FeTeMM) etkinliklerinde yeni fikirlere ve yeni tasarımlara öncülük etmesi beklenmektedir (Demir vd., 2016).

Bu çalışmada hava aracı bakım bölümlerinde SHY 66/EASA 66 kapsamında okutulan Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar dersinin daha iyi anlaşılması dersin görselleştirilmesi ve yetkili okullarda yapılması zorunlu olan “Temel esaslar eğitimi” ve “Komponent yerlerinin tanıtılması” iş emirlerinin de desteklenmesi amacıyla kesit görünümü Rolls Royce Trent 700 model yüksek bypass oranlı iki şaftlı bir turbofan motor üretilmiştir (SHGM, 2014).



(a)



(b)

Şekil 2. (a) Uçak Üzerinde Rolls Royce Gaz Türbinli Motoru; (b) Rolls Royce Gaz Türbinli Motoru Kesit Görüntüsü.

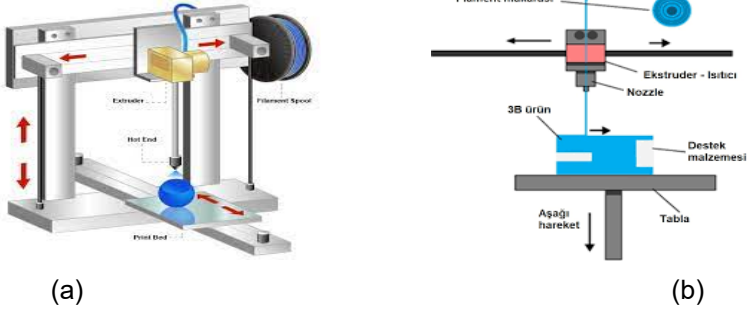
Kaynak: Rolls Royce: 2021.

Bu çalışma SHY 147 yetkili Hava Aracı Bakım Eğitim Kuruluşları, SHY 147 kapsamında tanınan okulları ve herhangi bir yetkisi olmayan hava aracı bakım bölümlerini ve SHY 145 kapsamında yetkili Onaylı Hava Aracı Bakım Kuruluşlarını kapsamaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışmada iki şaftlı yüksek bypass oranlı Rolls-Royce model gaz türbinli motor ve motorun bütün ana bileşenleri; Fan, Kompresör (LPC: Low Pressure Compressor, HPC: High Pressure Compressor), Yanma Odası, Türbin (LPT: Low Pressure Turbine, HPT: High Pressure Turbine), Egsoz, N1 Şaftı, N2 Şaftı, Stator, Rotor kademeleri ve motor sehпасı 3B yazıcıda PLA filament kullanılarak Eriyik Yığıma ile Modelleme (İng. Fused Deposition Modelling (FDM) yöntemiyle üretilmiştir.

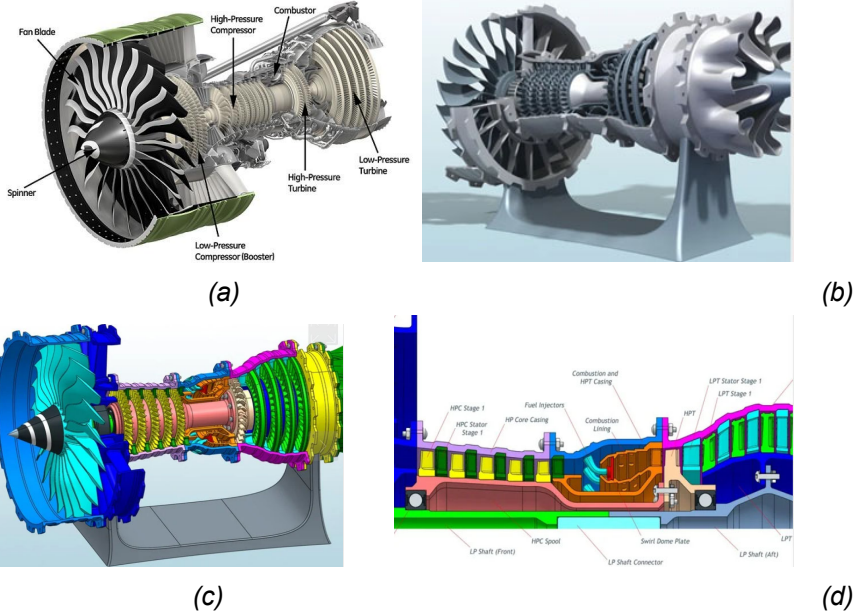
3B yazıcı ile üretim, masaüstü üretim veya eklemeli üretim olarak da bilinen FDM teknolojisinde en çok tercih edilen polimer malzemeler Polilaktik Asit (PLA) filament ve Akrilonitril Butadin Stiren (ABS) filamenttir (Yazar vd., 2018).



Şekil 3. (a) FDM Yöntemiyle Üretim Yapan 3B Yazıcı; (b) FDM Yöntemiyle Ürün Üretimi.

Kaynak: Karaman ve Çolak: 2019:92.

Polimer malzeme ekstruder yardımıyla yarı sıvı faza kadar ısıtılarak oldukça ince hat şeklinde enjeksiyonlardan (İng. Nozzle) üretim sıcak tablasına gönderilerek nesne üretilir (Shahrubudin vd., 2019). Polimer malzemelerde maksimum mukavemet 3B yazıcı teknolojisi ile elde edilmektedir (Şahin ve Turan, 2018).



Şekil 4. (a) Gaz Türbinli Motor Ana Komponentleri; (b) Üretilmesi Planlanan Gaz Türbinli Motor Simlfy 3D Programı Görünümü; (c) Üretilmesi Planlanan Gaz Türbinli Motor Animasyon Görünümü; (d) Üretilmesi Planlanan Gaz Türbinli Motor Komponentlerinin Gösterimi

Kaynak: Thingiverse:2021.

TASARIM

CATIA V5 FTW programında çizilen yüksek bypass oranlı Gaz Türbinli Motora ait 79 çizim STL formatında dışa aktarılmıştır.

STL formatındaki tasarımları dilimlemek ve baskılamak için Simlfy 3D 4.1.2 programı kullanılmıştır.

Simlfy 3D 4.1.2 dilimleme ve baskılama programından yazıcı modeli P802Q olarak seçilmiştir ve yazıcı tablasının x, y, z eksenleri tanıtılmıştır.

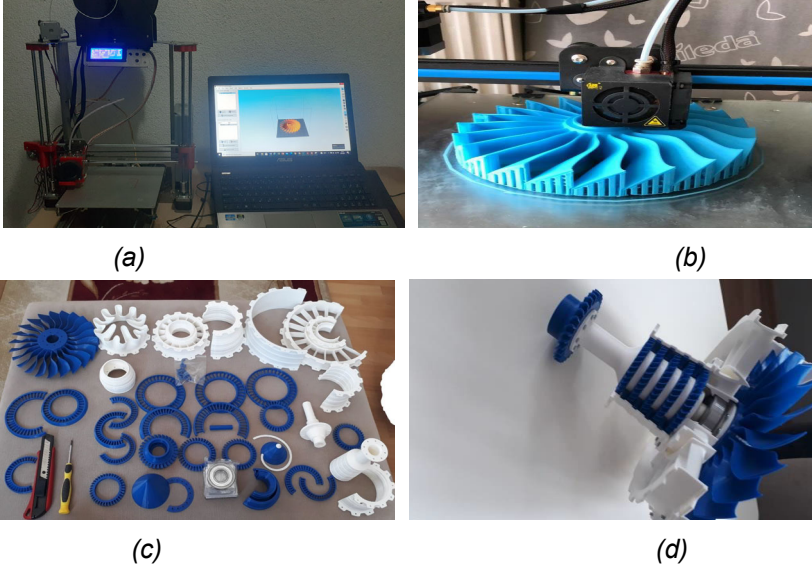
YAZICI

Zonestar P802Q 3B yazıcı kullanılmıştır, yazdırma tablası 220mm x 220mm x240mm ebatlarındadır. 150 mm/s maksimum üretim hızı, 0.4mm enjeksiyon çapı, çift extruder, Windows, Linux, Mac işletim sistemleri ile çalışabilme, extruder sıcaklığı 170 – 260 °C, tabla sıcaklığı 55 – 110 °C, SD kart veya usb ile çalışabilme ve 7.6 kg ağırlık gibi özelliklere sahiptir (“Zonestar P802Q , 2021).

FİLAMENT

Üç boyutlu yazıcıda 1,75 mm çapında mavi ve beyaz renk PLA filament tercih edilmiştir. PLA sert bir yapıya sahiptir ve kırılımandır. Basım sıcaklığı 190 °C – 220 °C değerleri arasındadır. Tabla sıcaklığı ise 50 °C – 70 °C aralığında önerilir.

PLA mısır nişastası ve şeker kamışından üretilen organik bir biyopolimer ve termoplastiktir. Sağlığa zararlı malzeme olmadığı için insan vücudu ile temas edebilecek ürünlerde kullanılabilirler. ABS filament göre daha düşük baskı sıcaklıklarında çalışılabilir. Ayrıca parlak bir yapıya sahip oldukları için de genellikle göze hitap eden ürünlerde de kullanım için tercih edilirler (Wittbrodt ve Pearce, 2015).

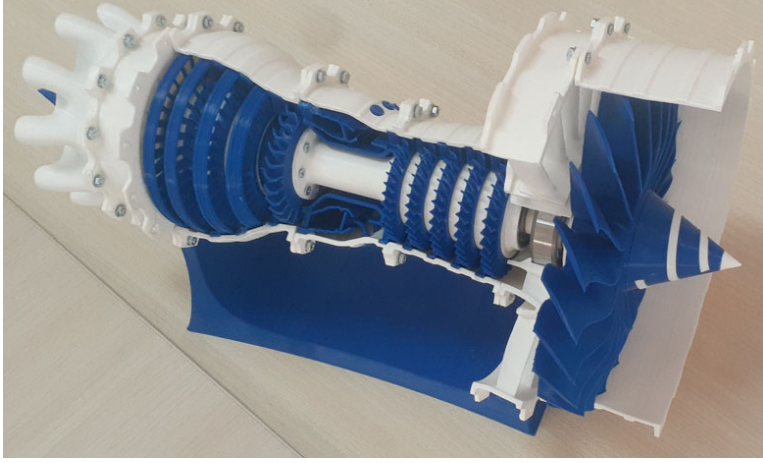


Şekil 5. (a) 3B Zonestar P802Q Yazıcı ile Gaz Türbinli Motor Üretilmesi; (b) Gaz Türbinli Motor Fan Komponenti Üretilmesi; (c) Üretimi Tamamlanan Gaz Türbinli Motor Komponentleri ve Birleştirme Elemanları; (d) Gaz Türbinli Motor Komponentlerinin Birleştirilmesi.

ÜRETİM

STL formatındaki dosyalar tek tek dışarı aktarıldı Simplfy 3D programında baskıya hazır hale getirilip, yazıcı tabla sıcaklığı 60 °C, ve extruder sıcaklığı 190 °C olarak ayarlandı. Doluluk oranı % 25 seçildi ve ilk katmanın yüksekliği 0,2000mm olarak ayarlandı. Soğutma fanı hızı % 60 olarak ayarlandı. Yazıcının tablasında atık plastik ve tablanın deformasyonunu önlemek için tablaya kâğıt bant yapıştırıldı. Üretilecek parçaların tabla üzerinde sabitlenebilmesi için fonex 4 numara saç spreyi kullanıldı. 79 adet parçanın ayrı ayrı üretimi 151 saat 22 dakika sürede tamamlandı. 2120 gram beyaz ve mavi renk PLA filament kullanıldı.

Parçaların montajı için 2 adet 20mmx47mmx14mm ölçülerinde 6204 paslanmak çelik rulman, 2 adet 17mmx35mmx10mm ölçülerinde 6003 paslanmak çelik rulman, 100 adet 2.5mmx0.45mmx10mm ölçülerinde alyan başlıklı vida, 200 adet 2.5mm kalınlığında düz pul, 100 adet 2.5mmx0.45mm ölçülerinde vida somunu, 1 adet hızlı yapıştırıcı kullanıldı.



Şekil 6. Üretimi Tamamlanan Yüksek Bypass Oranlı Rolls Royce Trent 700 Model Gaz Türbinli Motor Prototipi.

BULGULAR

Üç boyutlu üretimde, tasarımı Simlfy 3D 4.1.2 dilimleme ve baskılama programına aktardıktan sonra “Edit Process Settings” sekmesi tıklanıp baskı ayarları yapıldı. Baskı hatası oluşmaması için “Prepare to Print” sekmesinden ön izleme ve her bir parça için üretim süresi, üretim maliyeti, kullanılacak filament uzunluğu ve her parçanın katman sayısını görüntülendi. Baskı süresini ve maliyetleri azaltmak için katman yüksekliği ve dolgu önemli faktör olduğu görülmüştür.

Baskı süresini azaltmak için katman yüksekliği 0.2mm olarak seçilmiştir. Daha yüksek değerler seçildiğinde malzemenin daha kırılgan olduğu görülmüştür.

Üretimde dayanıklılığı etkileyen bir diğer faktör doluluk oranıdır. Bu çalışmada % 25 doluluk oranı seçilmiştir. İdeal dayanıklılıkta olabilmesi için minimum % 40 dolulukta olması gerektiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek doluluk oranlarının seçilmesi fazladan filament ve vakit gerektirecektir ayrıca üretilen malzemenin ağırlığını da artıracaktır.

İlk baskılarda hata olabilme ihtimaline karşı baskı hızlarının düşük hızlarda seçilmesinin avantajlı olduğu görülmüştür. İlk parçanın baskısında baskı hızı 25 mm/s olarak seçilmiştir. Böylelikle hatalı ayarlar daha net gözlemlenmiştir.

Hem 3B yazıcı yatak kısmının hem de enjeksiyonun zarar görmemesi için G Code sekmesinden z eksenini offset ayarı 0.20mm olarak seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

İlk katman baskısında enjeksiyon ve yazıcı tablası arasındaki mesafe çok kısa olduğu zaman enjeksiyonda tıkıma olduğu ve mesafe fazla olduğu zaman ise tablaya yapışma problemi olduğu görülmüştür. Ayrıca bazen ilk katmanın üretiminde z eksenine el ile müdahale edilerek üretime devam edilmiştir.

İlk katmanın iyi yapışmasını sağlamak için yatak sıcaklığının 60 °C olduğu görülmüştür. Ayrıca İlk katmanın yapışması, üretim esnasında parçanın devrilmemesi ve pürüzsüz baskı için hava akımının olmaması gerektiği görülmüştür.

3D yazıcıda enjeksiyonların soğumaması fırın şiltesi olarak bilinen 500 °C' ye kadar dayanıklı 0.84 kJ/(kg.K) spesifik ısı kapasiteye sahip 13 mm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi olan cam yünü kullanılmıştır. Bu işlemden sonra parça yüzeyinin daha pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Fan, kompresör ve türbin gibi parçaların disklerini malzeme üzerinde yatay konumda olması filament yığılmasını önlemiştir.

Üretilen motorların istenilen ideal tasarım gerekliliklerini sağladığı görülmüştür. Üretilen Prototip ile Gaz Türbinli Motor Teorisi, Brayton Çevrimi ve Bernoulli Prensibi motorda hava akışı ile motor şekli ilişkisi somut şekilde anlatıldığı için daha anlaşılır olduğu görülmüştür. Ayrıca motorun ana komponentleri ve komponentlerin görevleri öğrenciler tarafından daha anlaşılır hale gelmiştir.

SONUÇ

SHY 147 yetkili Hava Aracı Bakım Eğitim Kuruluşları, SHY 147 kapsamında tanınan okulları ve herhangi bir yetkisi olmayan iki yıllık ve dört yıllık hava aracı bakım bölümlerinde okutulan Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar dersi için yüksek bypass oranlı Gaz Türbinli Motor prototipi tasarım gerekliliklerinin tamamını karşılayacak şekilde üretimi başarılı ile tamamlanmıştır.

Üretilen Prototip Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından SHY 147 kapsamında tanınan okul olarak yetkilendirilen İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Uçak Teknolojisi Programı Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar dersinde “Temel esaslar eğitimi” ve “Komponent yerlerinin tanıtılması” iş emirlerinde kullanılmıştır.

Üretilen nesnesinin boyutlarından bağımsız olarak üretim süresi ve maliyetin azaltılabilir olduğu ancak belli bir sınırdan sonra ürünün kullanışsız olduğu görülmüştür.

Üretime başlarken ilk katman ayarlarının yazıcı tablası ve enjeksiyon için oldukça önemli olduğu ve gerektiğinde el ile düzeltilmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca ilk katmanın iyi yapışması sonrasında ürünün üretim esnasında sabit kalmasına etki ettiği görülmüştür.

Enjeksiyondan çıkan eriyik filamanetin soğumasının ve üretim ortamında hava akımının olması üretilen parça yüzeyini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Üretilen ürünün Modül 15 Gaz Türbinli Motorlar dersinin işlenişinde ve öğrencinin idrak etmesinde kolaylıklar sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Thingiverse (2017), 3D Printable Jet Engine by Catiav5ftw, <https://www.thingiverse.com/thing:1327093>, [3.9.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Rafiq Noorani (2015), "3D Printing: Technology, Applications, and Selection", CRC Press, pp.15-21.
- Aktimur, Gökpınar (2015), "Katmanlı Üretimin Havacılıktaki Uygulamaları", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Vol:3, No: 2, pp.463–469.
- Bilgi (2019), "Üç Boyutlu Yazıcı Kullanarak Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı Yapılması", 1. Uluslararası Zanaattan Sanata Jürili Karma Sergisi 1, Uşak.
- Demir, Çaka, Tuğtekin, İslamoğlu, Kuzu (2016), "Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar", Ege Eğitim Dergisi, Vol.2, No.17, pp.481–481.
- Denizhan, Doğru (2017), "Analysis of employability for the civil aviation maintenance graduates of Turkey". European Journal of Training and Development, Vol. 41, No: 9, pp.800–813.
- Goh, Agarwala, Dikshit, Sing, Yeong (2017), "Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential", Aerospace Science and Technology. Vol.63, No.4, pp.140-151.
- Karaman, Çolak (2019), "Eriyik Biriktirme Yönteminde Farklı Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi", ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Vol.1, No.2, pp.90-99.
- Moon, Tan, Hwang, Yoon, (2014), "Application of 3D printing technology for designing light-weight unmanned aerial vehicle wing structures", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, Vol.1, No:3, pp.223–228.

- Özbek, Durmuş, Şöhret, Karakoç (2016), " Manufacture and Tests of A Micro Class UAV With Electric Motor And High – Payload Fraction", Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi, Vol.1, No.2, pp.80-91.
- Rolls Royce (2021), Trent 700 Gas Turbine Engines, <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/airlines/trent-700.aspx> , [3.9.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Shahrubudin, Lee, Ramlan (2019), "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications", Procedia Manufacturing, Vol. 35, No. 2019, pp.1286–1296.
- SHGM (2014), "SHT-66 Hava Aracı Bakım Personeli Lisansı Talimatı (SHT-66), No: 2.
- SHGM (2018), SHY-147 Kapsamında Tanınan Okul Statüsü Konulu Genelge, <http://web.shgm.gov.tr/tr/s/4264-shy-147-kapsaminda-taninan-okul-statusu-quot-konulu-genelgemiz-yayinlanarak-yururluge-girmistir>, [3.9.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Şahin, Turan (2018), "Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi", Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Vol. 2, No.2, pp.97–116.
- Wittbrodt, Pearce (2015), "The Effects of PLA Color on Material Properties of 3-D Printed Components", Additive Manufacturing, Vol.8, No.2 pp.110–116.
- Yazar, Gökçe, Öteyaka (2018), "Havacılık Alanında Eriyik Yığma Modelleme Uygulaması: Boeing 737- 800 Model Uçağın 3 Boyutlu", Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi, Vol. 2, No.3, pp.37–44.
- Zonestar P802QR2 (2013), Tam Akrilik 3D Yazıcı DIY Kiti İle Çift Ekstruderler Otomatik Tesviye Kolay Montaj 3D Baskı Seti, <https://tr.aliexpress.com/item/32918320873.html> , [3.9.2021 tarihinde erişilmiştir.]

HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA YÜKLEME PROBLEMİNİN EVRİMSEL ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Mustafa KÜÇÜK, Hüseyin Tamer HAVA

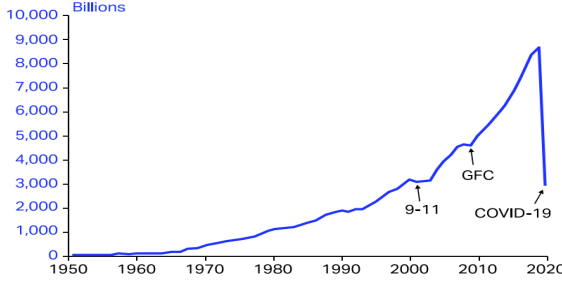
GİRİŞ

Her geçen gün birbirine daha fazla bağımlı hale gelen küresel ekonomi nedeniyle, havayolu kargo taşımacılığı, ekonomiyi büyütmek ve ticareti kolaylaştırmak için en önemli unsur haline gelmiştir. Ortalama her yıl toplam kargo hacminin sadece %2-3'ü hava yolu ile seyahat ederken, bu küçük miktar toplam kargonun parasal değerinin yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Bu da 6 trilyon doların üzerinde ticari malın nakliyesinde; hızı, güvenliği ve güvenilirliği için havayolu kargo taşımacılığının tercih edildiğini göstermektedir.

Böylelikle son yıllarda havacılık sektörü, yolcu taşımacılığının yanında kargo taşımacılığının da güvenli ve zamanında yapılmasının en etkili yolu haline gelmiştir. Havayolu kargo taşımacılığı, nakliye endüstrisinde devrimsel bir etki yaratmış ve kamyonlar ve tekneler gibi popüler alternatiflere kıyasla dünya çapında nakliye sürelerini büyük ölçüde azaltmıştır. Mallar daha hızlı sevk edilebildiğinden, dünyanın dört bir yanındaki şirketler, zaman veya fiyat kısıtlamaları nedeniyle erişmeleri imkânsız olan malzemelere erişebilme imkânı elde etmişlerdir. Havayolu taşımacılığının diğer bir faydası da güvenlik olup, karayolu veya deniz yoluyla yapılan taşımacılıktan çok daha az meydana gelen kargo kaybıyla sonuçlanan kazalarla, dünyadaki en güvenli ulaşım şekli haline almıştır. Havayolu kargo taşımacılığı, personelin veya üçüncü şahısların kargoya müdahale etmesini engellemek için güvenli elleçleme yöntemlerine sahip olup kargo takibi gibi teknolojik gelişmelerle birlikte havayolu kargo, mal ve ürünler için diğer muadillerine göre en güvenli ve emniyetli bir taşıma şekli sağlamaktadır. (Aircargoweek,2021)

Genel olarak, 2020 yılına kadar yükselen bir eğilim ile artan havacılık endüstrisi bu tarihten sonra küresel çapta yaşanan COVID-19 salgını ile İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana en büyük darbeyi almıştır. Daha önce, 11 Eylül saldırılarının ve 2007-2008 küresel mali krizinin havacılık üzerindeki olumsuz etkilerinin dramatik olduğu düşünülüyordu. Ancak, bunlardan hiçbirisi küresel çaptaki gelirin %66'lık düşüşüyle kıyaslanacak bir etkiye sahip olmamıştır (Şekil 1). Salgın yayıldıkça, havayolu taşımacılığı üzerindeki etkisi küresel olarak hissedildi ve şubat ayından başlayarak, seyahat kısıtlamaları ile birlikte yolcu trafiğinin bir önceki yıla göre %94 oranında düştüğü ve havacılık endüstrisinin

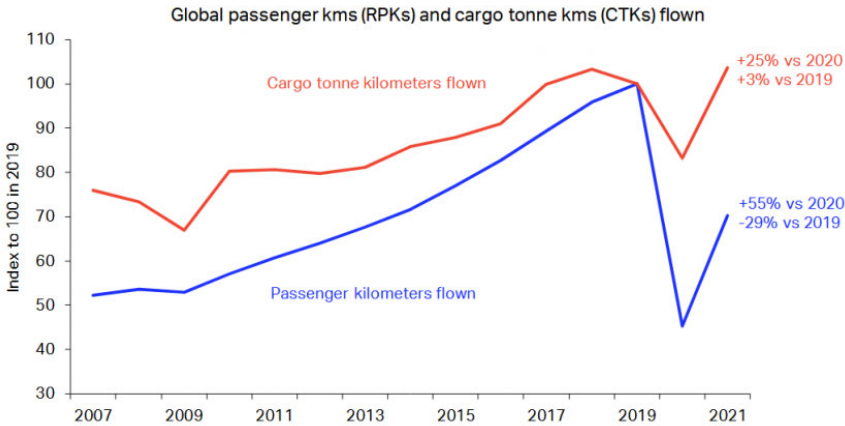
büyük bir kısmının durdurulduğu Nisan ayında en düşük noktaya ulaştı. O zamandan beri toparlanma birçok pazar açısından hayal kırıklığı yaratacak kadar yavaş olmuştur.



Şekil 1. Havacılık sektörünün son 70 yıllık pazar payı

Kaynak: IATA, (2021)

Havayolu kargo trafiği ise yolcu trafiğinden çok farklı olup Nisan ayında en fazla bir önceki yıla göre %25 düşmüştür. Bunun en önemli nedeni ise büyük yolcu uçaklarındaki iptallerden dolayı yüklerin taşınamaması olmuştur. Eylül ayına gelindiğinde ise kayıplar bir önceki yıla göre %8'e kadar gerileyerek en hızlı toparlanan sektörlerden birisi olmuştur (Şekil 2). Havayolu kargo taşımacılığı, birkaç istisna dışında, COVID 19 salgını için doğrusal bir vektör olmayıp dahası, küresel tedarik zincirlerini sürdürmek ve tıbbi ekipman ve ilaç taşımacılığı için elzem olduğunu ispatlamıştır.



Şekil 2. Havacılık sektörü yolcu ve kargo verileri

Kaynak: IATA, (2021)

Havayolu kargo taşımacılığında rekabet gücü yükseltmek ile müşteri kaybını önlemek için hızlı ve güvenilir teslimatlar şarttır (Teng, 2020). Bunun yanında bu sektördeki en önemli kaynak, taşıma kapasitesi olup buradaki sınırlar karlılığı doğrudan etkilemektedir. Mevcut taşıma kapasitesini, farklı yükleme seçenekleri kullanarak, en yüksek oranda kullanmayı hedefleyerek karlılığı maksimize etmeye çalışan optimizasyon problemi Havayolu Kargo Taşımacılığında Yükleme Problemi (HKTY) olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan evrimsel algoritma yöntemi probleme uyarlanarak oluşturulan örnekler ile test edilmiştir. İkinci bölümde genel literatür incelemesi verilmiş, üçüncü bölümde problemin matematiksel modeli oluşturularak dördüncü bölümde geliştirilen algoritma sunulmuştur. Beşinci bölümde sayısal analizler tartışılmış ve son bölümde ise çalışmanın özeti ile gelecek çalışmalara ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

HKTY, kesme ve paketleme problemleri ailesine ait olup Bortfeldt and Wascher (2013) tarafından geniş kapsamlı bir literatür incelemesi sunulmuş olan Konteyner Yükleme Problemi (KYP)'nin genelleştirilmiş hali olarak değerlendirilmektedir. Bu problem türünde küçük hacimli ve genelde dikdörtgen nesnelere daha büyük yine genelde dikdörtgen nesne içine yerleştirilir ve boş alan en küçüklenerek kar en büyüklenmeye çalışılır. Bizim problemimiz öncelikli olarak aynı amaç fonksiyonuna sahip olmakla birlikte bazı çalışmalarda amaç, yükün ağırlık merkezinin istenilen noktada olması veya elleçleme çabasını düşük tutmak da olabilmektedir. KYP ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma olmasına karşın HKTY konusunda aynı durum geçerli değildir. Bildiğimiz kadarı ile ilk çalışma Mongeau ve Bes (2003) tarafından yapılmış olup, yakıt tüketimini en aza indirmek için ağırlık merkezi dengelemesini bozmadan mümkün olduğunca çok yük alma amaçlanmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem tam sayılı doğrusal programlama metodu kullanılarak uçağa yerleştirilecek konteynerlerin sırası belirlenmektedir.

Havayolu sektöründe kullanılan konteynerlerin seçimi ve bunlara yüklerin atanmasını konu alan Wu (2008)'in tam sayılı doğrusal programlama modeli ile Lau ve diğerleri. (2009)'nin genetik algoritması nakliye kiralama maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ancak her iki makale de KYP'nin yaygın kullanılan kısıtlarını dikkate almamışlardır. Limbourg ve diğerleri (2012) yayınladıkları makalede; kargo konteynerlerinin ve paletlerin hava aracına optimal şekilde yüklenmesi ile ilgili tam sayılı karma doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Bu modelde standart kısıtları hesaba katmakla beraber

uçak verimliliğini arttırmak ve yakıt tüketimini azaltması için yüklerin atalet momentinin de dikkate alınması önerilmiştir.

Paquay ve diğerleri (2016), konteyner yükleme problemini esas alarak havacılık sektöründe kullanılan konteynerlere uyarlamıştır. Bu konuda geliştirilen matematiksel model ve karma tam sayılı doğrusal programlama gerçek dünya verileri ile test edilmiştir. Son olarak Brandt ve Nickel (2019)'in çalışmasında HKTYP çeşitli alt problemlerden oluşan ana problem olarak tanımlanmış ve konuya bir süreç olarak yaklaşmıştır. Bu süreçte bulunan alt problemler;

- Uçak Konfigürasyon Problemi (ACP): Bir uçuş için gerekli konteynerlerin tiplerine ve sayısına,
- Birleştirme Planlama Problemi (BSP): Her konteynerin hangi saatte ve iş istasyonunda oluşturulacağına,
- Hava Kargo Paketleme Problemi (APP): Parçaların atanmasına ve konteynerlerin içindeki yerleşimlerine,
- Ağırlık ve Denge Problemi (WBP): Uçağın içindeki konteynerlerin yükleme pozisyonlarının belirlenmesine karar veren optimizasyon problemleri olarak tanımlanmaktadır.

PROBLEMİN TANIMLANMASI

Paquay ve diğerleri (2016) HKTYP için tanımladıkları model aşağıda sunulmuş olup modelde n sayıdaki kutunun m sayıdaki konteynerlere yerleştirilmesi için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlar konu edilmektedir.

Amaç Fonksiyonu;

Min (Kullanılmayan Hacim)

Kısıtlar;

Her kutu yalnızca bir konteynerde taşınabilir,

Her kutu içinde bulunduğu konteyner çeperlerinden taşınmayacak şekilde yerleştirilir,

Her konteynere yerleştirilen kutuların toplam ağırlığı konteyner kapasitesine eşit veya daha düşük olmalıdır,

Dikey yerleştirme (orthogonal placement)

Örtüşmeme (no overlap)

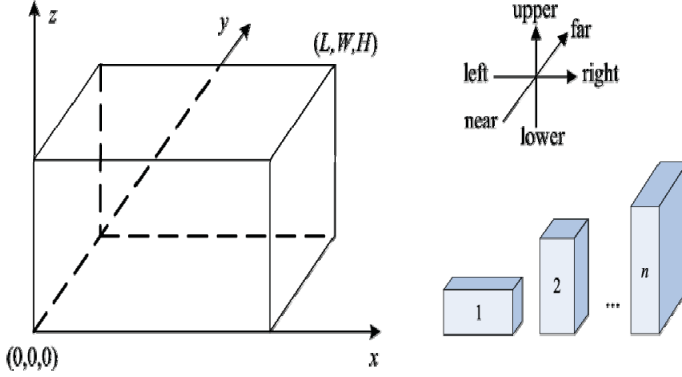
Yönlendirme (orientation)

Denge (stability)

Kırılganlık (fragility)

Ağırlık dağılımı (weight distribution) kısıtları sağlanmalıdır.

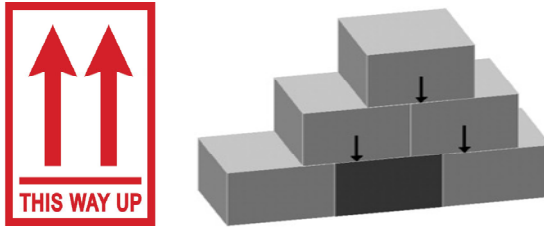
Dikey yerleştirme (orthogonal placement): Dikey yerleştirme kısıtlarında konteyner içine yerleştirilecek kutu yüzeyleri konteyner tabanına paralel veya dik konumda bulunmalıdır. Bu kısıta göre kutuların eğimli olarak yüklenmesine izin verilmez (Şekil 3).



Şekil 3. Konteyner ve kutuların gösterimi

Kaynak: He ve Huang(2009)

Yönlendirme (orientation): Temel olarak kutulara ait her boyut döndürülmek suretiyle yükseklik (dikey kenar) olabilir, bu şekilde farklı yükleme seçenekleri elde edilir. Ancak malların ve ambalajların hasar görmesini önlemek veya yükün stabilitesini sağlamak için bazı kutuların belirli kenarlarının yükseklik olmasına veya yalnızca bir kenarın yükseklik olmasına izin verilir. Bu durumlarda “bu yönde istifleyin (this way up)” kuralı olarak da tanımlanabilecek yönlendirme kısıtı modelde gösterilmelidir. (Bortfeldt ve Wäscher, 2013).



Şekil 4. Yönlendirme ve denge kısıtlarının gösterimi

Denge (stability) : Dengesiz yükler, nakliye sırasında ve/veya yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında kargonun zarar görmesine ve hatta personelin

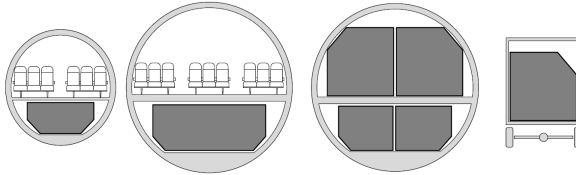
yaralanmasına neden olabilir. Bu nedenle konteyner içindeki her kutu başka bir kutu veya konteyner tarafından desteklenmesi gerekir. Literatürde bu kısıtlı ilgili genelde her kutun alt yüzeyinin tamamen (%100) desteklenmesi en çok kullanılan yöntemdir (Şekil 4).

Kırılabilirlik (fragility): Kırılabilirlik her kutun taşıyabileceği yük olarak tanımlanabilir. Bu yük kapasitesi düşük ise üstüne yerleştirilen bir kutunun ağırlığı alttaki kutuya ve içindekilere zarar verebilir bunu önlemek için kırılabilir kutular işaretlenerek yükleme planlamasında bu hususun dikkate alınması sağlanır.

Ağırlık dağılımı (weight distribution): Ağırlık dağılımı kısıtı özellikle havacılıkta ve karayolu taşımacılığında hem araçların güvenli ulaşımının sağlanması hem de yakıt tasarrufu için önem verilen bir kısıttır. Farklı ağırlıktaki yüklerin toplam ağırlık merkezinin konteyner orta noktasına mümkün olduğunca yakın olması istenilen bir yükleme metodudur. Bazı çalışmalarda amaç fonksiyonuna da eklenen bir formül ile sağlanan bu kısıt sayesinde ağır yükler konteyner tabanına yakın yerlere daha hafif olan yükler ise üst bölgelere yerleştirilmesi sağlanmaktadır.

ULD'LER

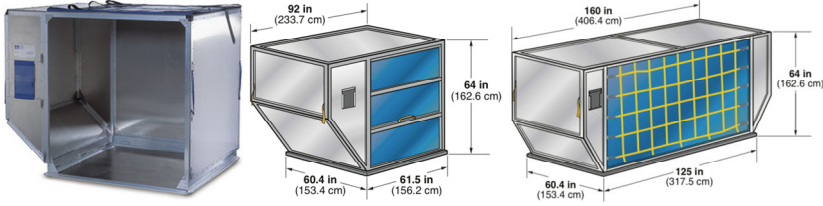
Uçak gövdesinin kesiti daireye yakın bir şekil olduğundan ve mevcut alanı etkin şekilde kullanmak amacıyla farklı uçak tiplerine göre farklı şekil ve ölçülerde Birim Yük Gereçleri (Unit Load Devices, ULD)'ler bulunmaktadır. Standartları Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) tarafından belirlenen ULD'ler yapısı ve kullanıldığı malzeme özellikleri açısından uçağa ait bir malzeme kadar önemli ve hassas ölçülerde olması gerekmektedir. ULD'lerin şekli KYP ile HKYP arasında en önemli farktır. Bu farkın matematiksel modeli çözüm algoritmalarına dahi edilerek "kesik" geometri yükleme planlamalarında en iyi şekilde kullanılması sağlanır (Şekil 5). Çeşitli ULD tipleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 6).



Soldan sağa doğru; A320 alt kargo bölümü , A350 alt kargo bölümü, MD11F kargo uçağının ana güvertesi ve alt güvertesi ve karayolu araçlarına ait enine kesitler.

Şekil 5. ULD'lerin Araç ve Uçak içindeki yerleşimleri

Kaynak: Brandt ve Nickel (2019)



Şekil 6. ULD tipleri

Kaynak: Uldcare (2021)

EVİRİMSSEL ALGORİTMA

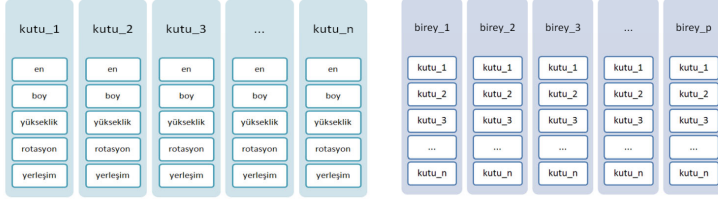
Evrimsel algoritmalar, temel olarak doğal evrimin özelliklerinden esinlenen popülasyon tabanlı meta-sezgisel yöntemlerdir. EA'ların özellikle iyi bilinen kategorileri arasında genetik algoritmalar (GA'lar), Genetik Programlama (GP) ve Evrim Stratejileri (ES) bulunur. EA'lar, pratik uygulamalarda, özellikle kombinatoriyal problemlerin çözümlerinde çok başarılı olduklarını kanıtladılar. EA'lar oldukça esnek ve diğer teknikler için gerekli olacak yeniden formüle etme ve/veya basitleştirme gereksinimleri olmaksızın herhangi bir optimizasyon görevini yerine getirmek üzere yapılandırılabilir.

Genel olarak bir başlangıç popülasyonu oluşturularak nesiller boyunca küçük değişiklikler yapmak suretiyle mevcut popülasyona alternatif popülasyonlar geliştirmek mantığı üzerine dayalı olan bu çözüm yöntemi nihayetinde “doğal seçim” kuralları doğrultusunda en iyilerin hayatta kalabildiği ve geçmişten gelen bazı özelliklerin gelecek nesillere aktarıldığı bir yöntemdir. Çeşitli problemlere kolaylıkla adaptasyonu, yeni çözüm oluşturulurken yapılan değişikliklerin rast gele olması, özellik aktarım mekanizmaları sayesinde nesiller arasındaki iletişimi, gerçekleşen değişikliklerin sonucunun hemen öğrenilmesini sağlayan geri bildirim süreci ve aramada belirli bölgelere yoğunlaşan aynı zamanda da farklı bölgelerin göz önünde bulundurulmasını sağlayan keşif ve sömürü prensibi EA'ların en önemli karakteristiklerindedir. Evrimsel bir algoritma tasarlamak için ise aşağıdaki ana arama bileşenleri sağlaması gerekmektedir;

Temsil: EA çözüm yöntemlerinde, kodlanmış çözüm kromozom veya birey olarak adlandırılırken bir çözüm içindeki karar değişkenleri genlerdir. Değişkenlerin (genlerin) olası değerlerine alele denir ve bir değişkenin (genin) bir çözüm (kromozom) içindeki konumu lokus olarak adlandırılır. Çözüm kromozomlarını kullanarak belirli sayıda bireyden popülasyon oluşturulur (Şekil 7). Bu tanımların KYP'deki karşılıkları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

S/N	EN	BOY	YÜKSEKLİK	EN-YÜKSEKLİK	BOY-YÜKSEKLİK	YÜKSEKLİK-YÜKSEKLİK	X	Y	Z
1	108	76	30	0	0	1			

(a) Alele



(b) Kromozom, Birey

(c) Popülasyon



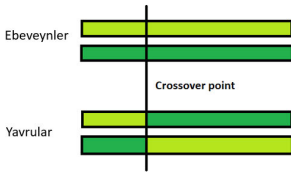
Şekil 7. Evrimsel Algoritma elemanları

Kaynak: Küçük (2010)

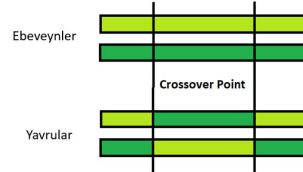
Amaç Fonksiyonu: Bu, tüm meta-sezgiseller çözüm yöntemleri için ortak bir arama bileşenidir. EA çözüm yöntemlerinde uygunluk terimi (fitness function), amaç fonksiyonuna atıfta bulunur.

Seçim stratejisi: Gelecek nesillerin hangi popülasyon üyelerinden (ebeveynler) seçilmesiyle ilgili oluşturulan önyargı olup uygunluk değerlerine bakarak rest gele yapılır.

Üreme stratejisi: Üreme stratejisi, yeni bireyler (yavrular) oluşturmak için uygun mutasyon ve çaprazlama operatörleri tasarlamaktan oluşur. Çaprazlama (crossover) operatörü, popülasyon içerisinde seçilmiş ebeveyn bireylerin farklı yöntemlerle yeni bireyler oluşturma süreçleri olarak adlandırılabilir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 8).



(a) Tek nokta çaprazlama

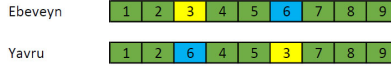


(b) İki nokta çaprazlama

Şekil 8. Çaprazlama çeşitleri

Kaynak: Geeksforgeeks (2021)

Mutasyon operatörü ise genler üzerinde rast gele meydana gelen kalıcı değişiklikler olarak tanımlanabilir. Yukarıda bahsedilen seçim stratejisi kapsamında seçime bireylere uygulanan mutasyonla ilgili literatürde bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı takas (swap) yöntemidir (Şekil 9).



Şekil 9. Mutasyon örneği

Değiştirme stratejisi: Yeni nesiller, yeni nesildeki yerleri için eski bireylerle rekabet eder ve genel olarak doğal seçim gereği daha iyi olan bireyler hayatta kalır. EA'ların son bileşeni durdurma kriteri olup belirli bir nesil (generation) sonra algoritma durdurulur ve en iyi değer kaydedilir.

Bu çalışmada HKTYP için tasarlanan EA; Küçük ve Ermiş (2010) tarafından KYP için geliştirilen algoritmadan esinlenerek hazırlanmış olup işlem aşamaları aşağıdaki gibidir.

1.	$P \rightarrow$ population size
2.	$G \rightarrow$ generation size
3.	Find the initial population
4.	While (feasibility is not achieved) and number of generation
	G do
5.	For $i = 1$ to population size do
6.	Select two individuals to be parents
7.	Apply crossover mechanism
8.	Apply mutation mechanism
9.	Compute fitness value.
10.	Insert offspring into the population
11.	End for
12.	Apply elitism procedure for the new generation
13.	End while
14.	Report solution

SAYISAL ANALİZ

Geliştirilen algoritmanın performansını test etmek amacıyla; hesaplama kolaylığı sağlamak kısa sürede sonuç alınabileceği değerlendirilen düz tipteki LD11 tipi ULD'ler tercih edilmiştir. Yerleştirilmesi yapılacak yükler dikdörtgensel kutulardan oluşup yönlendirme ve denge kısıtları hesaba katılmıştır. İki farklı gruptan oluşan test örneklerinin birincisinde kutu tipleri daha homojen, ikincisinde ise kutu tipleri çok sayıda ve heterojen bir dağılım mevcuttur.

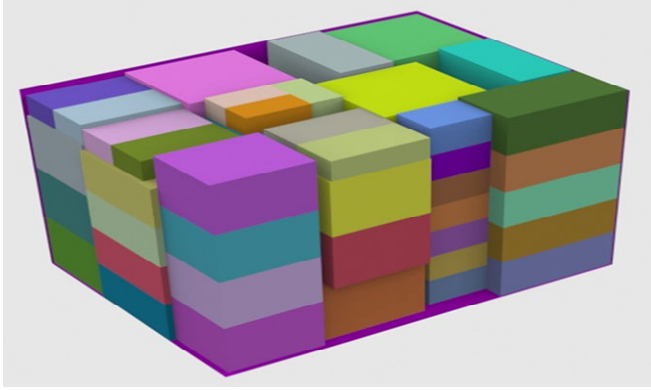
Aşağıdaki Tablo 1'de sunulan 3 ve 20 farklı kutu tipleri bulunan örneklerde w , l ve h ifadeleri kutuların kenar boyutları hf ise o kenarın yükseklik olup/olamayacağını gösteren tekil sabittir. Algoritmayı yaklaşık 60 sn. çalıştırma sonucunda; birinci test için %15 ikinci test için %11 kullanılan hacim elde edildi. Buradan homojen yapıda olan yüklerin yerleştirilmesinin kolay ancak kullanılan bölümün fazla olduğu sonucuna varıldı. Heterojen yapıdaki yüklerin yerleştirilmesinde ise tam tersi bir sonuç elde edildi. İkinci testin ULD yerleşimi Şekil 10'da sunulmuştur.

Tablo 1. Test 1 ve Test 2 için veriler

Test 1							Test 2						
w_i	$hf.$	l_i	hf	h_i	hf	miktar	w_i	$hf.$	l_i	hf	h_i	hf	miktar
108	0	76	0	30	1	10	49	0	25	1	21	1	5
110	0	43	1	25	1	10	60	1	51	1	41	1	5
92	1	81	1	55	1	12	103	1	76	1	64	1	3
							95	1	70	1	62	1	6
							111	0	49	1	26	1	1
							85	1	84	1	72	1	4
							48	1	36	1	31	1	4
							86	0	76	0	38	1	4
							71	1	48	1	47	1	4
							90	0	43	1	33	1	4
							98	0	52	1	44	1	4
							73	0	37	1	23	1	3
							61	1	48	1	39	1	3
							75	1	75	1	63	1	3
							74	1	42	1	40	1	3
							98	0	88	0	26	1	3
							97	0	69	1	41	1	2
							89	1	77	1	46	1	2
							73	1	64	1	55	1	5
							84	1	69	1	66	1	4

SONUÇ

Bu çalışmada, oldukça rekabetçi olan havacılık sektöründe kargo taşınması ile ilgili Havayolu Kargo Taşımacılığı Problemini (HYKTP) inceledik ve çözümü için Evrimsel Algoritma geliştirdik. Algoritma en temel düzeyde ve basitlikte hazırlanmış olup gerçek hayat problemlerine kolayca uyarlanabilecek özelliğe sahiptir. Bizim amacımız, ULD'ler içindeki kullanılan alanı en aza indirmenin yanı sıra, gerçek bir yükleme rehberi sunmaktan ibarettir. Çok sayıda kısıtın aynı anda göz önünde bulundurulmasıyla hazırlanan bu rehberler güvenlik ve verimliliği arttıracak karar destek sistemlerine girdi sağlayacaktır. Bununla birlikte, hava kargo taşımacılığı, özellikle yolcu havayolları ile karşılaştırıldığında, beklenenden çok daha az dijitalleştirilmiştir ve bu nedenle gelecekteki araştırmalar için umut verici bir alan sağlamaktadır.



Şekil 10. Test 2'nin geliştirilen EA ile çözümü

KAYNAKÇA

- Aircargoweek (2021), <https://www.aircargoweek.com/the-importance-of-air-cargo-to-the-global-economy/>, [12.11.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Bortfeldt, A., and Wäscher, G. (2013). Constraints in container loading—A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 1-20.
- Brandt, F. (2017). The air cargo load planning problem (Doctoral dissertation, KIT-Bibliothek).
- Brandt, F., and Nickel, S. (2019). The air cargo load planning problem—a consolidated problem definition and literature review on related problems. *European Journal of Operational Research*, 275(2), 399-410.
- Geeksforgeeks (2021), <https://www.geeksforgeeks.org/crossover-in-genetic-algorithm/>, [12.11.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- He, K., and Huang, W. (2010). Solving the single-container loading problem by a fast heuristic method. *Optimization Methods and Software*, 25(2), 263-277.
- Kucuk, M., and Ermis, M. (2010, October). A new hybrid evolutionary algorithm for three-dimensional packing problems. In *2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (pp. 4029-4034). IEEE.
- Küçük, M. (2010). Konteyner Yükleme Probleminin Karma Evrimsel Algoritmalar ile Çözümü. Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İstanbul.
- Lau, H. C. W., T. M. Chan, W. T. Tsui, G. T. S. Ho and K. L. Choy (2009). An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations. *Expert Systems with Applications* 36 (3), p. 4296–4312.

- Limbourg, S., Schyns, M., and Laporte, G. (2012). Automatic aircraft cargo load planning. *Journal of the Operational Research Society*, 63(9), 1271-1283.
- Mongeau, M., and Bes, C. (2003). Optimization of aircraft container loading. *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, 39(1), 140-150.
- Paquay, C., Schyns, M., and Limbourg, S. (2016). A mixed integer programming formulation for the three-dimensional bin packing problem deriving from an air cargo application. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 187-213.
- Teng, O. (2020). The Air Cargo Allocation Plan Recovery Problem: Recovering from disruptions on air cargo allocation planning for combination airlines.
- Uldcare (2021), <https://uldcare.com/uld-tools-and-solutions/uld-types/> , [12.11.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Wu, Y. (2008). Modelling containerisation of air cargo forwarding problems. *Production Planning and Control* 19 (1), p. 2–11.

DETERMINING THE EFFECT OF LAYER HEIGHT ON THE BONDING STRENGTH OF ADDITIVELY MANUFACTURED TENSILE SAMPLES

Mümin TUTAR, Emre KURT

INTRODUCTION

With the development of technology, new materials, and new production methods are being developed. Production of renewable materials through Fused Deposition Modelling (FDM) or Fused Filament Fabrication (FFF) additive manufacturing (AM) using polylactic acid (PLA) as a low-cost material option is an emerging field of study (Zhao,2019, Guduru,2020). FDM is a 3D printing method that provides the formation of new materials by melting thermoplastic materials. This emerging manufacturing space increases speed and flexibility in the design and manufacturing process compared to traditional manufacturing methods (Hikmat,2021). The 3D printers can minimize material wastage, operation steps, and production cost, and time. The 3D printing technologies have been extensively used for new product development, prototype development, and customized product development compared to other production methods owing to lower costs in case of little quantity production (Kannan,2013, Kun,2019). The working of FDM 3D printers starts with creating CAD (Computer-Aided Design) data of required product which can be prepared using designing software such as AutoCAD, Solidworks, SpaceClaim, etc. Then, the toolpath is generated by slicer software using designed CAD data. This path is used to operate 3D printers.

On the other hand, 3D printers are significant components of the fourth industrial revolution that decreases physical movement (Hikmat,2021, Vardhan,2020). The mechanical properties of additively produced parts made of PLA largely depend on the processing parameters. Many studies have been carried out on processing parameters such as infill density, layer height, layer orientation, nozzle temperature to improve mechanical properties (Decuir, 2016, Dindar,2020, Rodríguez-Panes,2018, Rao,2019, Tutar,2021). However, the effect of layer height on the bonding of layers is not clearly presented in the literature.

In this study, the effect of layer height of PLA test samples on mechanical properties under tensile stress was investigated. At the same time, it is evaluated that this study will guide both military and civilian applications that are planned to be produced with national means using additive manufacturing technology.

MATERIALS AND METHODS

Materials

In this study, CCTREE brand PLA filament with a diameter of 1.75 mm and tolerance of ± 0.03 mm was used in the manufacture of test samples. PLA filaments are mostly preferred by many users due to their recyclability, affordable price, ultimate strength, and easy printing.

Process and Process Parameters

First, the CAD drawing model of tensile test samples (given in Fig. 1) is created using Solidworks software and saved as Stereolithography (STL) format, and then the model is transferred to Simplify3D which is a slicer software. Sample productions were carried out using by a 3D printer of Ender 3 Pro (Fig. 2.).

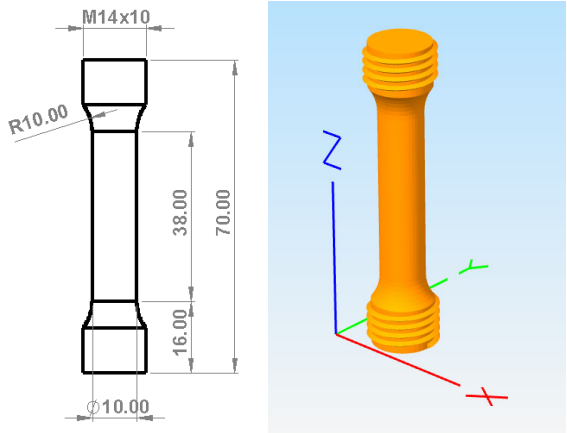


Figure 1. Test sample



Figure 2. Creality Ender 3 Pro 3D printer

For the purpose of the study, four different layer height values were used while keeping other parameters constant. These parameters are given in Table 1. In the FFF method, layer height is generally chosen between 25% & 75% of nozzle diameter. For the 0.4mm nozzle used in the study, this gives a layer height range of 0.1mm up to 0.3mm. To obtain equally increasing values starting from 0.12 mm, 0.12, 0.20, 0.28, 0.36 mm values were preferred. For all samples, the first and last 16 mm along the Z direction (distance outside the parallel length) were printed with a layer height value of 0.12 mm for crosshead screwing.

Table 1. Constant Process Parameters

Nozzle Diameter (mm)	0.4
Printing Speed (mm/s)	50
Extrusion width (mm)	0.48
Infill percentage (%)	100
Nozzle Temperature (°C)	210
Bed Temperature (°C)	60

TENSILE TEST

Tensile tests were carried out using the GUNT WP 300 Universal Materials Testing Machine which has a load capacity of 20kN. This testing machine and a tested sample can be seen in Figure 3 a) and b), respectively. The crosshead speed was roughly 5 mm/min and the experiments were carried out at room temperature (25 °C). Force values were acquired from the pressure transducer and displacement of crosshead values were acquired using a potentiometer type linear extensometer. Stress-strain curves were obtained using force-displacement values using section area and a gage length of the sample. Four samples were tested for every layer height value.

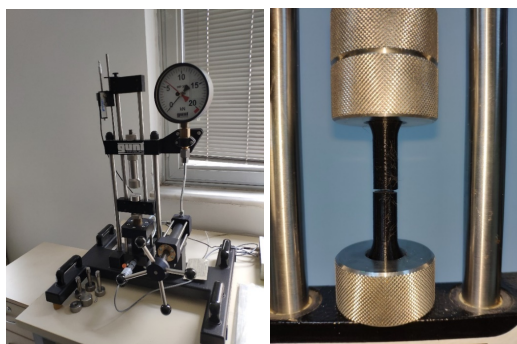


Figure 3. a) GUNT WP 300 Universal Materials Testing Machine b) Tested sample

RESULT AND DISCUSSION

In order to investigate the mechanical properties of the bonding section of additively manufactured samples when subjected to out-of-plane loading, a uniaxial tensile test is performed. All samples were fractured in the parallel length of the sample and one for each parameter can be seen in Figure 4. Obtained force-displacement values used to generate stress-strain curves and average curves of four different samples for each layer height parameter are presented in Figure 5.



Figure 4. Examples of Fractured Samples

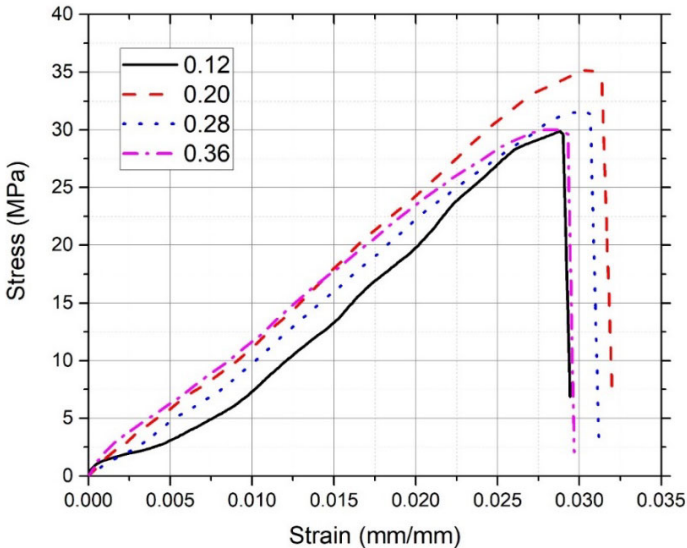


Figure 5. Stress-Strain Curves

Average maximum stress values with its standard deviations and manufacturing time of one sample are given in Table 2. Additionally, these values are visualized in Fig. 6. Maximum stress was first increased up to 0.2 mm layer height and then decreased. There are different results reported in several studies (Math,2018, Brischetto,2019, Heidari-Rarani,2020, Rajpurohit,2018, Grasso,2018). Some of them reported an increase with an increasing layer height. However, some studies have reported the opposite of this result. There are a few concepts that can be mentioned here. First, as in this study, when other parameters are kept constant, the time the polymer material is exposed to heat increases with decreasing layer height and the polymer loses its properties in this process. The second is the concept called the statistical size effect. This concept says that a decrease in layer height results in more layers and the risk that in one layer something goes wrong, which in the end will be the location where a failure starts.

The increase and decrease in obtained results can be explained by taking these concepts into account. The decrease in the standard deviation with the increase in the layer thickness given in Table 2. These results showed that the statistical size effect is confirmed.

8% change is observed between the maximum and the minimum strain values, and 85.42% correlation (R2) value is determined with tensile stress values.

Table 2. Obtained Test Results and Process Parameters

Layer Height (mm)	0.12	0.20	0.28	0.36
Stress (MPa)	31.71	36.80	32.42	30.86
Standard Deviation	3.00	2.49	1.15	1.12
Strain (%)	2.94	3.20	3.12	2.97
Manufacturing Time (mins)	150	118	104	99

The times required to produce the samples were recorded and shown in Figure 6. It can be expected that with increasing layer height, the number of layers and, accordingly, the production time decreases. However, this change is not linear because of the constant movement of the tool. When a quadratic polynomial is fitted to this curve, it has been determined that the correlation coefficient reaches a very high value of 0.99. Obtained polynomial coefficients are given in Table 3.

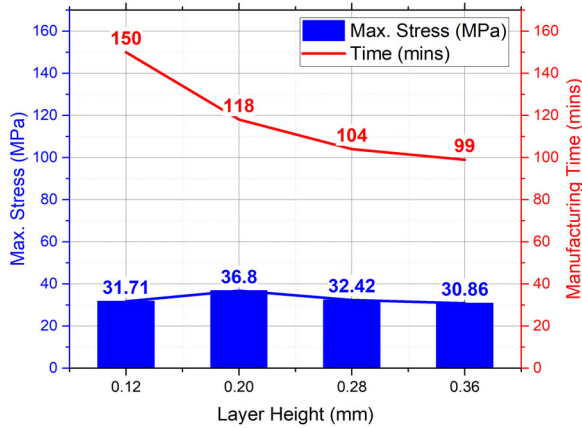


Figure 6. Obtained Test Results

Table 3. Obtained polynomial coefficients

Equation	y = Intercept + B1*x^1 + B2*x^2		
Weight	No Weighting		
Residual Sum of Squares	4.05		
Adj. R-Square	0.99231		
		Value	Standard Error
Time (mins)	Intercept	193.25	5.60245
	B1	-50.45	5.11102
	B2	6.75	1.00623

CONCLUSIONS

In this study, additively manufactured PLA tensile test samples were tested under out-of-plane loading. From this investigation, the following conclusions can be derived:

- An increase in the layer height leads to an increase up to 0.2mm and then a decrease in maximum tensile stress.
- The increase in layer height from 0.12 mm to 0.20 mm provided a 15.41% improvement in the maximum stress value, as well as a 21.33% savings in production time.

- 8% change is observed between the maximum and the minimum strain values, and 85.42% correlation (R^2) value is determined with tensile stress values.
- Manufacturing time is decreased with increased layer height. A quadratic polynomial had a correlation coefficient of 0.99 R^2 between layer height and time.

REFERENCES

- Zhao, Yu, Yuansong Chen and Yongjun Zhou (2019), "Novel mechanical models of tensile strength and elastic property of FDM AM PLA materials: Experimental and theoretical analyses.", *Materials & Design*,181,108089.
- Guduru, K. K. and G. Srinivasu (2020), "Effect of post treatment on tensile properties of carbon reinforced PLA composite by 3D printing." *Materials Today: Proceedings* 33 5403-5407.
- Hikmat, Mohammed, Sarkawt Rostam and Yassin Mustafa Ahmed (2021), "Investigation of tensile property-based Taguchi method of PLA parts fabricated by FDM 3D printing technology." *Results in Engineering* 11,100264.
- Kannan, S., D. Senthilkumaran and K. Elangovan (2013), "Development of composite materials by rapid prototyping technology using FDM method." 2013 International Conference on Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET) paper 281-283. IEEE.
- Kun, Krisztián (2016), "Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology." *Procedia Engineering* 149 paper 203-211.
- Vardhan, Harsh, Raman Kumar and Jasgurpreet Singh Chohan (2020), "Investigation of tensile properties of sprayed aluminium based PLA composites fabricated by FDM technology." *Materials Today: Proceedings* 33 1599-1604.
- Decuir, Francois, Kelsey Phelan and Bryant C. Hollins (2016), "Mechanical strength of 3-D printed filaments." 2016 32nd Southern Biomedical Engineering Conference (SBEC) paper 47-48. IEEE,
- Dindar, Ç., Altay, M., Tutar, M., and Aydin, H. (2020), "The Effect Of Infill Pattern On Mechanical Properties Of Materials Produced By Fused Deposition Modeling." In International Marmara Sciences Congress (AUTUMN 2020) paper 479.
- Rodríguez-Panes, Adrián, Juan Claver, and Ana María Camacho (2018), "The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis." *Materials* 11.8,1333.
- Rao, V. Durga Prasada, P. Rajiv, and V. Navya Geethika (2019), "Effect of fused deposition modelling (FDM) process parameters on tensile strength of carbon fibre PLA." *Materials Today: Proceedings* 18,2012-2018.

- Tutar, M. (2021), "Investigation of Mechanical Properties of Notched Samples Manufactured by Additive Manufacturing Method Under Different Impact Velocities." *Journal of Aeronautics and Space Technologies* 14.2,127-131.
- Math, RS Kadadevara, R. Goutham and KR Srinivas Prasad (2018), "Study of Effects on Mechanical Properties of PLA Filament which is blended with Recycled PLA Materials." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 310. No. 1. IOP Publishing
- Brischetto, Salvatore, Roberto Torre and Carlo Giovanni Ferro (2019), "Experimental evaluation of mechanical properties and machine process in fused deposition modelling printed polymeric elements." *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, Cham.
- Heidari-Rarani, M., Ezati, N., Sadeghi, P., & Badrossamay, M. R. (2020), "Optimization of FDM process parameters for tensile properties of polylactic acid specimens using Taguchi design of experiment method." *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 0892705720964560.
- Rajpurohit, Shilpesh R. and Harshit K. Dave (2018), "Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part." *Rapid Prototyping Journal*
- Grasso, M., Azzouz, L., Ruiz-Hincapie, P., Zarrelli, M., & Ren, G. (2018), "Effect of temperature on the mechanical properties of 3D-printed PLA tensile specimens." *Rapid Prototyping Journal*.

UÇAK BAKIM TEKNİSYENLERİNİN HAVACILIK TIBBİ EĞİTİMLERİ

Nazım ATA

GİRİŞ

Havacılık tıbbi genel olarak sağlıklı insanların uçuşta karşılaşılabilecekleri problemlerle ilgilenen bir bilim dalı olarak diğer tıp dallarından ayrılır. Her ne kadar genelde uçuşta karşılaşılabilecek problemlerle ilgilenen bir bilim dalı olsa da insan faktörleri bağlamında uçuşun her kademesinde görev alan görevliler de havacılık tıbbının ilgi alanındadır. Bu kişilerin başında hava trafik kontrolörleri, insansız hava aracı pilotları ve uçak bakım teknisyenleri gelir. Bunun temel nedeni havacılık tıbbi profesyonellerinin insan faktörü nedenli kazaları en az seviyeye indirmek görevidir. İnsan faktörü analizinde herkesin aklına insan olarak kazanın oluşumunda son hareketi yapan kişi gelir. Bu kişi de birçok kaza için pilottur. Ancak sadece son hareketi yapan kişi insan faktörünün tek sorumlusu olarak görülmemelidir. Uçağın uçuşa hazırlanmasından uçuşun gerçekleşmesi esnasında görevi olan herkes ve uçuşun yapılmasında yönetim görevi olan tüm organizasyonlar aslında insan faktörü kavramının bir bileşenidir. Bu bileşenin her bir parçası havacılıktaki çevresel faktörlerin ve uçuşun insan fizyolojisi ve psikolojisi üzerine etkilerini çok iyi bilmelidir. Genel olarak uçuşta görevli olan uçuş ekiplerinin havacılık tıbbi ile ilgili eğitimleri olmasına rağmen, uçuşa bilfiil iştirak etmeyen havacılık personeli herhangi bir havacılık tıbbi eğitimi almamaktadır. Bu çalışmada havacılık tıbbinin çalışma alanlarından kısaca bahsedilerek uçak bakım faaliyetlerinde görev alan personelin neden havacılık tıbbi eğitimi almaları gerektiği ortaya konacaktır.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

İNSAN FAKTÖRÜ

Araştırmalar günümüzdeki havacılık kazalarının %70-80'inin insan hatası nedeniyle olduğunu göstermektedir. (Kilic, 2019) İnsan faktörüne bağlı kazaların incelenmesi ve düzeltici işlemlerin yapılması aşamasında bazı zorluklar vardır. Bu zorlukların başında kazanın oluşumuna direkt etki eden son hareketin ya da uçağa kumanda eden pilot hatasının insan faktörünün tek bileşeni olarak görülmesi gelmektedir. Kazaya zemin oluşturan faktörler, emniyetsiz yönetim ve kurumsal faktörler de mutlaka dikkate alınmalıdır. İnsan faktörü ile ilgili çeşitli modeller vardır. Bunlar içerisindeki en kapsayıcısı "İsviçre Peyniri" modelidir. Bu modelde insan hatalarının oluşumu birbirini etkileyen emniyetsiz hareket, zemin

oluşturan faktörler, emniyetsiz yönetim ve kurumsal faktörler olarak adlandırılan dört aşama ile açıklanmıştır. (Wiegmann, 2021; Pagán, 2006) Kuşkusuz uçak bakım faaliyetinde görev alan personellerin bu aşamaların her biri ile yakın ilişkisi vardır.

HAVACILIK TIBBI

Havacılık tıbbı uçuş ekipleri başta olmak üzere uçuşla bağlantılı tüm personelin sağlıkları ile ilgilendirir. Bu alanda sıklıkla uçuş tabipleri görev almaktadır. ABD, İngiltere, Hindistan ve Türkiye gibi bazı ülkelerde ise bu alan ihtisaslaşmıştır. Ülkemizde hava ve uzay hekimliği olarak ihtisaslaşan tıp doktorları 3 yıllık bir eğitim sonrasında havacılık tıbbı alanında uzman doktor olarak görev almaktadır. (Tıpta ve Dış Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliği, 2011)

Havacılık tıbbı profesyonelleri uçuşta ortaya çıkabilecek ya da maruz kalınan hipoksi, akselerasyon, uzaysal dezoryantasyon (spatial disorientation), barotravmalar, dekompresyon hastalığı (vurgun) ve hareket hastalığı gibi fizyolojik durumlarla ilgilendirilir ve uçuş ekiplerini bu konularda eğitirler. Tecrübe uçuşlarına katılan, yerde basınçlandırma faaliyetlerini yürüten uçak bakım personeli de bu problemlerle karşı karşıya kalabilir. Uçuşta karşılaşılabilecek bu faktörlerin yanısıra hem yer ekiplerinin hem de uçuş ekiplerini maruz kaldığı havacılık ortamının çevresel faktörleri de hava ve uzay hekimlerinin üzerinde çalıştığı ve önlemler aldığı konulardır. Bu faktörler arasında, gürültü- vibrasyon, vardiyalı çalışma nedenli shift-lag ve termal stres sayılabilir. Tüm bu faktörler uçuş ekiplerini ve uçak bakım personelini etkileyerek hata yapma olasılığı artırabilmektedir.

Havacılık ortamının getirdiği risklerin yanısıra uçuş ve yer ekiplerinin kendi kendilerine yüklediği stresler de vardır. Self imposed stresler olarak adlandırılan bu etkenler arasında ilaç, alkol ve sigara kullanımı ve beslenme problemleri gibi faktörler vardır. Hem uçuş ekipleri hem de yer ekipleri uçuş görevleri esnasında ya da öncesindeki yaşam standartlarını en üst düzeyde tutmalı, uçuş esnasında bilişsel fonksiyonlarını minimal bile bozacak her türlü etkenden uzak durmalıdır.

YÖNTEM

ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Pilotlar ve diğer uçuş ekipleri için akademik ve uygulamalı havacılık tıbbi eğitimleri olmasına rağmen tecrübe uçuşlarına katılan, yerde basınçlandırma vb. işlemler ile çeşitli çevresel değişkenlere maruz kalan uçak bakım

teknisyenleri için zorunlu bir havacılık tıbbı eğitimi yoktur. Bu sunumda uçak bakım teknisyenlerinin niçin havacılık tıbbı eğitimine ihtiyaç duyduklarının açıklanması amaçlanmıştır.

Literatürde uçak bakım personelinin insan faktörü kavramı içerisinde incelendiği çalışmalar olmasına rağmen bu personellerin havacılık tıbbı eğitim gerekliliğini ele alması nedeniyle çalışmanın insan faktörü, havacılık tıbbı ve havacılık güvenliği ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Ülkemizdeki ve dünyadaki havacılık tıbbı yönerge ve yönetmelikleri incelenerek uçak bakım teknisyenlerinin havacılık tıbbı eğitimleri ile ilgili bilgiler verilecek, uçak bakım personelinin çok önemli bir rol üstlendiği bir kaza kırım raporu irdelenecektir.

VERİ TOPLAMA YÖNTEMİ

Çalışmada resmî kurumların internet sitesinde (SHGM) yayınlanmış olduğu yönerge yönetmelikler ile Uçak Gövde Bakım Bölümü olan üniversitelerin alım prosedürleri ve ders içerikleri ilgili üniversitelerin sitelerinden incelenecektir.

Örnek olay incelemesi için ise Yunanistan Ulaştırma Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu Helios Hava Yolları HCY522 numaralı uçuşa ait kaza kırım raporu irdelenecektir.

BÜLGULAR

UÇAK BAKIM PERSONELİNİN HAVACILIK TIBBI EĞİTİMLERİ

Sivil havacılıkta sadece pilotların "040 dersi" olarak adlandırılan "İnsan Performansı ve Limitleri" dersleri kapsamında akademik havacılık tıbbı eğitimleri bulunmaktadır. Kabin ekiplerinin ise havacılık tıbbından ziyade uçak içi acillerle ilgili kurs ve eğitimleri mevcuttur. Uçak bakım teknisyenlerinin ise herhangi bir havacılık tıbbı eğitim zorunluluğu bulunmamaktadır.

Askeri havacılıkta ise uçuşla ilgili görev alacak herkes görev alacağı uçuşun özelliklerine göre insan santrifüjü eğitim cihazında, alçak basınç odasında, gece görüş laboratuvarında, uzaysal dezoryantasyon eğitim cihazında ve atlama sandalyesi eğitim laboratuvarında eğitim almaktadır.

Alçak basınç odasında iki ayrı eğitim verilmektedir. Bu eğitimlerden biri yüksek irtifada ortaya çıkabilecek hipoksidir. Alçak basınç odasında eğitim olarak kişisel hipoksi semptomlarını tanıyan uçuş ekipleri, gerçek uçuş şartlarından aynı semptomlarla karşılaştıklarında gerekli düzeltici işlemleri

yapmaktadır. Bu eğitimi alan uçuş personelin daha hızlı ve doğru bir şekilde müdahale ettiği araştırmalarla ortaya konmuştur. (Fizyolojik Eğitimler, 2021)

İnsan santrifüjü eğitim cihazında akselerasyon etkileri uygulamalı olarak uçuş ekipleri tarafından deneyimlenmekte, akselerasyon artışına bağlı (G artışı) bilinç kayıplarını önlemek için yapmaları gereken manevralar (AGSM-Anti G Straining Manevrası) öğretilmektedir. Atlama sandalyesi eğitim laboratuvarında ise işler yolunda gitmediğinde son çare olarak atlamak zorunda kalacak pilotların atlama postürlerinin nasıl olması gerektiği öğretilmektedir. Atlama esnasında çok yüksek G kuvvetlerine maruziyet söz konusu olduğu için omurga yaralanmaları başta olmak üzere birçok yaralanma ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Atlama sandalyesi eğitimi alan pilotlar doğru prosedürleri uygulamalı olarak öğrendikleri için daha az yaralanma olması beklenmektedir. (Fizyolojik Eğitimler, 2021)

Gece görüş laboratuvarında ve uzaysal dezoryantasyon eğitim cihazında ise gece uçuşlarında ya da görüş referansının olmadığı bulut içi uçuşlar başta olmak üzere çeşitli uçuş koşullarındaki illüzyonlar uçuş ekiplerine yaşatılarak öğretilmektedir. Özellikle uzaysal dezoryantasyon eğitim cihazında verilen eğitimler esnasında alet uçuşunun öneminden bahsedilmektedir. (Fizyolojik Eğitimler, 2021)



Şekil-1: Alçak basınç odası, atlama sandalyesi eğitim laboratuvarı, insan santrifüjü eğitim cihazında, uzaysal dezoryantasyon eğitim cihazında ve gece görüş laboratuvarı.

Kaynak: USAEM: 2021.

UÇAK BAKIM PERSONELİNİN SAĞLIK MUAYENELERİ

Üniversitelerin uçak gövde ve motor bakım bölümlerinin kabul şartları incelendiğinde "Mesleği ve/veya meslekte verilen görevi icra etmesine engel

oluşturacak herhangi bir sağlık sorunu bulunmadığına dair tam teşekküllü hastaneden son 6 içerisinde almış olmak şartıyla heyet raporu (renk körlüğü, işitme kaybı/eksikliği, görme kaybı/eksikliği vb.) istenmektedir. (Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü Kabul ve Kayıt Koşulları, 2021)

SHGM'nün Uçucu Teknisyenlerin Sağlık Muayeneleri ile ilgili yayınlamış olduğu genelgeye göre bu personelin "Salahiyetli bir hastanede sağlık muayenesi yaptırarak ICAO Ek-1'e göre uçucu teknisyenliğine elverişli olduğunu bildiren bir sağlık raporu" alması gerekmektedir. Ancak bu sadece uçuşa iştirak edecek uçak bakım personeli için gerekli olup uçak bakım teknisyeni olmak için herhangi bir sağlık raporu istenmemektedir. Yine de bazı havayolu şirketleri kendileri bu raporları isteyebilmektedir. (Uçucu Teknisyenlerin Sağlık Muayeneleri, 2007)

ÖRNEK OLAY: (AAIASB,2006)

14 Ağustos 2005 tarihinde Kıbrıs Rum Kesiminden Atina'ya giden bir yolcu uçağı (Helios Airways) Yunanistan'da düşmüştür. Kazada 6'sı uçuş ekibi olmak üzere toplan 121 kişi hayatını kaybetmiş ve kimse kurtulamamıştır. Kaza kırım raporu uçak bakım personelin kazadaki rolü ile ilgili çok önemli bulguları ortaya koymuştur.

Uçak kazadan önceki uçuşta, Londra-Heathrow'dan 14 Ağustos 2005'te saat 01:25'te Larnaka'ya inmiştir. Kabin ekibi sağ arka servis kapısında uçuş esnasında buzlanma olduğunu ve ses geldiğini belirtmiştir. İnişi takiben bir uçak bakım personeli uçak kapısını görsel olarak kontrol etmiş ve kabin basınçlandırma kaçak testi yaparak herhangi bir kaçak ve anormal ses olmadığını belirtmiştir. Uçak aynı günün sabahında saat 06:07'de Atina için havalanmıştır. Kabin ekibi ile son olarak saat 06:11'de FL340'a tırmanma müsaadesi için iletişim kurulmuştur.

Flight Data Recorder'a (FDR) göre, saat 06:12'de ve uçak 12 bin feet irtifaya geldiğinde kabin irtifa uyarısı duyulmuştur. Yaklaşık 2 dakika sonra kaptan tarafından 16bin feet irtifalarda şirketin Operasyon Merkezi ile iletişim kurmuştur. Yine kayıtlara göre yolcu oksijen maskelerinin saat 06:14'te açıldığı belirlenmiştir. FDR'a göre, kaptan ile operasyon merkezindeki Yer Mühendisi arasındaki iletişim uçak yaklaşık olarak 29 bin feet irtifalardayken saat 06:20'de kesilmiş ve sonraki aramalara cevap verilmemiştir. Saat 06:23'te 34bin feet irtifada düz uçuşa geçen uçak önce Atina Uluslararası Havalimanı için aletli yaklaşma prosedürüne başlamış daha pas geçme prosedürünü uygulayarak bekleme düzenine girmiştir.

Yunan Hava Kuvvetleri'ne ait iki F-16 savaş uçağı saat 08:23'te 34bin feet irtifada uçakla görsel temas kurmuştur. Her türlü iletişim ve çağrılara cevap

alınamamıştır. Uçağın etrafında manevralar yaparak iletişimin olmamasının nedenlerini tespit etmeye çalışmış ve herhangi bir dış yapısal hasar veya yangın/duman tespit etmemiştir. F-16 pilotu kaptan pilot koltuğunun boş olduğunu, birinci pilot koltuğunda, kontrollerin üzerine yığılmış biri olduğunu ve tavandan sarkan oksijen maskeleri gördüklerini iletilmişlerdir. Uçak bir süre bu şekilde uçtuktan sonra alçalmaya başlamış ve saat 09:03'te Atina Uluslararası Havalimanı'nın yaklaşık 33 km kuzeybatısında düşmüştür.

Kaza kırım incelemesi sonucunda uçağın kabin basınçlama sisteminin bir gece önce yapılan basınçlandırma testi sonrasında "manuel"de kaldığı, uçuş ekibinin bu durumun farkına varmadığı ve irtifa artışı ile basınçlandırmanın otomatik olarak sağlaması nedeniyle uçuş ekibi ve yolcuların hipoksi nedeniyle bilinçlerini kaybetmiş oldukları tespit edilmiştir.

Raporda diğer üzerinde durulan konulardan biri de basınçlandırma testi esnasında uçak bakım personelinin birinin barotravma nedeniyle kulak ağrısı yaşadığı ve testi normalden daha hızlı bitirdikleri belirlenmiştir.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Kabin basınçlama testi esnasında ortaya çıkabilecek bir barotravmayı bilen, belki de alçak basınç odasında bunu deneyimlemiş olan bir uçak bakım personelinin uygulayacağı usuller ile bu konuda hiçbir bilgi ve deneyimi olmayan bir teknisyenin yaklaşımı arasında farklar olacaktır. Ve bu farklılık örnek olayda olduğu gibi onlarca kişinin öldüğü trajik bir kazaya neden olabilecektir.

SHGM'nün uçuşa iştirak edecek uçak bakım teknisyenleri ile ilgili bir genelge yayımlaması oldukça olumludur. Bu yaklaşımın hem üniversitelerin ilgili bölümlerine başlayacak hem de işe başlayacak uçak bakım personeli için de uygulanması uçuş emniyetini artırıcı bir faktör olacaktır. Uçak bakım teknisyenlerinin sağlık standartlarının uçuş ekipleri seviyesinde olması beklenmez. Ancak yine kanat üzerinde, yüksekte çalışan bir personelin epilepsi nöbeti geçirmesi de ilgili personelin hayatını riske sokabilecektir. Alım esnasında kriterlerin net olarak belirlenmesi, belirlenmiş olan sağlık kriterlerini karşılayamayan kişilerin okullara alınmaması, sonradan gelişen hastalıklar için de yetişmiş personel kaybını engellemek amacıyla uygun yerlerde görevlendirilmesi uygun bir yaklaşım olacaktır.

İnsan faktörü nedenli kazaların %70-80 olduğu günümüzde insan faktörü olarak bahsedilen sadece son hareketi yapan pilot olmayıp uçuşun her kademesinde görev alan herkes insan faktörünün bir parçasıdır. Dolayısıyla tecrübe uçuşlarına katılan veya yerde basınçlandırma test faaliyetlerini yürütenler başta olmak üzere tüm uçak bakım teknisyenleri havacılık tıbbı konusunda temel bilgileri edinmelidir. Bu sayede uçuş emniyeti sağlanmış olacaktır.

KAYNAKÇA

- Kilic, B. and Gundogdu, S. (2019), "Human factors in air cargo operations: HFACS analysis of 15 accidents", *Journal of Aviation Research*, Vol. 2, No. 2, pp.101-114.
- Wiegmann, D. A., J Wood, L., N Cohen, T. and Shappell, S. A. (2021), "Understanding the "Swiss Cheese Model" and Its Application to Patient Safety", *Journal of patient safety*, Advance online publication.
- Pagán, B. J., De Voogt, A. J., & Van Doorn, R. R. (2006). Ultralight aviation accident factors and latent failures: a 66-case study. *Aviation, space, and environmental medicine*, Vol. 77, No. 9, pp. 950-952.
- Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliği (2011), <http://www.tusrehberi.com/46/ipta-uzmanlik-tuzugu> , [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Fizyolojik Eğitimler (2021), <https://usaem.hvkk.tsk.tr/>, [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- USAEM Tanıtım Broşürü (2021), http://dosya.hvkk.tsk.tr/Uploads/Usaem/Usaem/USAEM_TANITIM_-BROSURU.pdf , [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü Kabul ve Kayıt Koşulları (2021), <https://oidb.eskisehir.edu.tr/sites/oidb.eskisehir.edu.tr/files/files/HUBF-UGMB%20Kay%C4%B1t%20ko%C5-%9Fullar%C4%B1.pdf>, [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Uçucu Teknisyenlerin Sağlık Muayeneleri (2007),<http://web.shgm.gov.tr/tr/genel-duyurular/1033-ucucu-teknisyen-saglik-muayeneleri-ile-ilgili-genelge> , [28.10.2021 tarihinde erişilmiştir.]
- Air Accident Investigation and Aviation Safety Board (AAIASB) (2006), Helios Airways Flight HCY522 BOEING 737-31S at Grammatiko, Hellas on 14 August 2005, Hellenic Republic Ministry of Transport and Communications.

PID VE SPSA İLE HEXAROTOR İHA'NIN DİNAMİK MODELLENMESİ VE ASKIDA UÇUŞ KONTROLÜ

Oğuz KÖSE

GİRİŞ

Askeri operasyonlar, spor faaliyetleri, hobi, trafik, arama kurtarma gibi çeşitli alanlarda kullanılarak ortak bir bilgi toplama kaynağı haline gelen İHA'larla ilgili çalışmalar son yıllarda artmıştır (Singh 2018). İHA çalışmalarının ilk yıllarında araştırmalar quadrotor adı verilen araçlarla sınırlıyken, son zamanlarda quadrotora göre avantajları nedeniyle hexarotor ve oktocopter gibi araçlar üzerinde çalışmalara yoğunlaşmıştır (Lighthart et al. 2017).

Bu çalışmada, tartışılan hexarotor kontrolü hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Latt ve arkadaşları 2019'da hexarotor yapısı ve uçuş testleri üzerine yaptıkları araştırmada, hexarotor lineer model üzerinde çalıştılar. Doğrusal hareket denklemlerinde durum uzay modeli yaklaşımını kullanarak hexarotor modeli oluşturdular. PID kontrol yöntemi hexarotor kontrol algoritması olarak seçilen çalışmada uygun PID katsayıları ile hexarotor uçuş testlerini başarıyla gerçekleştirdiler. Baranek ve Šolc ise 2012'de hexarotor matematiksel model ve kontrol algoritması üzerine yaptıkları çalışmada matematiksel model için Newton yasalarını, hexarotor modeli oluşturmak için doğrusal denklemler ve durum uzay modeli yaklaşımı kullandılar. Önerilen kontrol yöntemi ve simülasyonları ile hexarotor, perde tutumunu ve x eksenindeki konumunu başarıyla kontrol etti. Alaimo ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada doğrusal bir PID kontrolü kullanarak matematiksel bir model ve hexarotor tasarlayarak test ettiler.

Hexarotor modeli tasarlamak için Newton-Euler yaklaşımını, stabilizasyonunu ve kontrol algoritmasının verimliliğini artırmak için Quaternions yöntemini kullandılar. Model ve algoritma testlerinin çeşitli deneysel değerler kullanılarak gerçekleştirildiği çalışmada hexarotorin verilen yörüngeleri başarıyla takip ettiği gözlemlendi. Rao ve Mathew ise 2018'de yaptıkları çalışmada PID ve geri adımlama kontrollerini kullanarak bir hexarotorin dinamik modelini ve kontrolünü tartıştılar. Newton-Euler yöntemi ile rotor dinamiklerini ve aerodinamik etkileri içeren doğrusal olmayan bir hexarotor modeli elde ettikleri çalışmada hexarotor irtifasını ve tutumunu kontrol etmek için PID ve geri adım kontrol yapıları kullandılar. Önerilen kontrol tekniklerini ve hexarotor modelini Matlab / Simulink ortamında test ettiler. Çalışmanın sonucunda geri adımlama

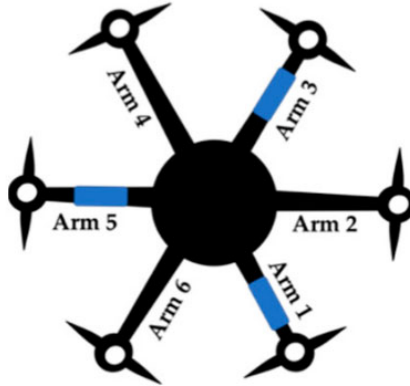
kontrol yönteminin doğrusal bölge dışındaki PID kontrol yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıktı.

Bu çalışmada hexarotor lineer dinamik modeli oluşturulmuştur. Heksacopter hover kontrolü için gerekli katsayılar SPSA kullanılarak belirlenmiştir. Bu modelde, hexarotor hover PID kontrol algoritması kullanılarak kontrol edilmiştir. Hexarotor lineer dinamik model ve kontrol algoritması Matlab/Simulink ortamında uygulanmış ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

YÖNTEM:

HEXAROTOR KİNEMATİK VE DİNAMİK

Hexarotor çok rotorlu bir insansız hava aracıdır. Heksacopter modeli simetrik bir yapıya ve sert bir gövde sistemine sahiptir. Hexarotor, merkezden altıgen köşelerine doğru yerleştirilmiş altı kola sahiptir. Her kolun sonunda elektrik motoruna bağlı bir pervane bulunur. Simetrik olmasına rağmen, ağırlık merkezi altıgen merkezindedir. Altıgendeki altı pervane sabit açıdır. Üç pervane saat yönünde dönerken, diğer üç pervane saat yönünün tersine döner. Altıgen yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hexarotor(Gururajan, Mitchell, and Ebel n.d.)

Hexarotor temel hareketlerini gerçekleştirmek için pervanelerin hızını değiştirmesi gerekir (Magnusson 2014). Her pervane itme gücü üretir. Bu çalışmanın ana konusu olan dikey hover uçuşu için tüm pervaneler eşit hızlarda dönmeli ve eşit itme gücü üretmelidir. Her pervane eşit hızda döndüğünde ve ürettikleri itme miktarı hexarotorin ağırlığından daha fazla olduğunda, hexarotor yerden yükselmeye başlayacaktır. Askıda uçuşta üretilen itme gücü azaldıkça, hexarotor irtifa kaybedecektir.

Hexarotor 6 derece özgürlüğe sahip bir sistemdir. Hexarotor hareketini takip etmek için gövde sabit eksenini gereklidir. Gövde sabit ekseninin, hexarotor ağırlık merkezi ile çakıştığı kabul edilir. Hexarotor'un bir diğer eksen atalet çerçevesidir. Atalet çerçevesi, kökeni dünyanın merkezinde olan çerçevedir. Gövde sabit eksenini, hexarotor temel hareketlerini hesaplamak için atalet çerçevesi ile karşılaştırılır. Hexarotor atalet çerçevesi ve gövde sabit eksenini Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Atalet ve Gövde Sabit Çerçeve(Moussid, Sayouti, and Medromi 2015)

Atalet çerçevesine göre gövde sabit ekseninin açısal konumu, Euler açıları tarafından tanımlanır. (ϕ, θ, ψ) . Euler açılarını stabilize etmek için ataletsel konum vektörü ve ξ ve η olan Euler açı vektörü aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\xi = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ataletsel çerçeve doğrusal ve açısal hızlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{\xi} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}, \dot{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (2)$$

x, y ve z eksenlerindeki hexarotor konumu tanımlayan sistem denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\ddot{x} = (\cos \phi \cos \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \frac{F_x}{m} \quad (3)$$

$$\dot{y} = (\cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi) \frac{U_1}{m} \quad (4)$$

$$\dot{z} = -g + (\cos \phi \cos \theta) \frac{U_1}{m} \quad (5)$$

Hexarotor Euler açıları etrafında yönünü tanımlayan hexarotor açısal hızlar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\dot{\phi} = \frac{I_y - I_z}{I_x} \theta \dot{\psi} + \frac{I_m}{I_x} \omega_G \dot{\theta} + \frac{U_2}{I_x} \quad (6)$$

$$\dot{\theta} = \frac{I_x - I_z}{I_y} \phi \dot{\psi} + \frac{I_m}{I_y} \omega_G \dot{\phi} + \frac{U_3}{I_y} \quad (7)$$

$$\dot{\psi} = \frac{I_x - I_y}{I_z} \theta \dot{\phi} + \frac{U_4}{I_z} \quad (8)$$

Denklem 6-8'deki I_x , I_y ve I_z atalet momentlerini, m hexarotor kütleini ve U_1 , U_2 , U_3 , U_4 ise sistemin girdilerini temsil etmektedir.

$$U_1 = b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2) \quad (9)$$

$$U_2 = \frac{b}{2}(-\omega_1^2 - 2\omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 + 2\omega_5^2 + \omega_6^2) \quad (10)$$

$$U_3 = \frac{b\sqrt{3}}{2}(-\omega_1^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_6^2) \quad (11)$$

$$U_4 = d(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) \quad (12)$$

$$\omega_G = -\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6 \quad (13)$$

Chamseddine ve arkadaşlarının 2012'de yaptığı çalışmaya göre, hexarotor girdiler ve sistem denklemleriyle birlikte gerçek sistem davranışını temsil etse bile anlaşılması zor olan karmaşık bir sistemdir. Basitleştirilmiş modeller, x, y ve z eksenlerindeki hexarotor yönünü ve konumunu kontrol etmek için kullanılabilir. Bu durumda, doğrusal olmayan dinamiklerden hem yönlendirmeyi hem de konumu denetlemek için doğrusal bir model türetilir. Bu yüzden doğrusallaştırma işlemi hexarotor hover pozisyonu çalışma noktası olarak alınarak gerçekleştirilirse yeni model aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\dot{x} = g\theta \quad (14)$$

$$\dot{y} = -g\phi \quad (15)$$

$$\dot{z} = -g + \frac{U_1}{m} \quad (16)$$

$$\dot{\phi} = \frac{U_2}{I_x} \quad (17)$$

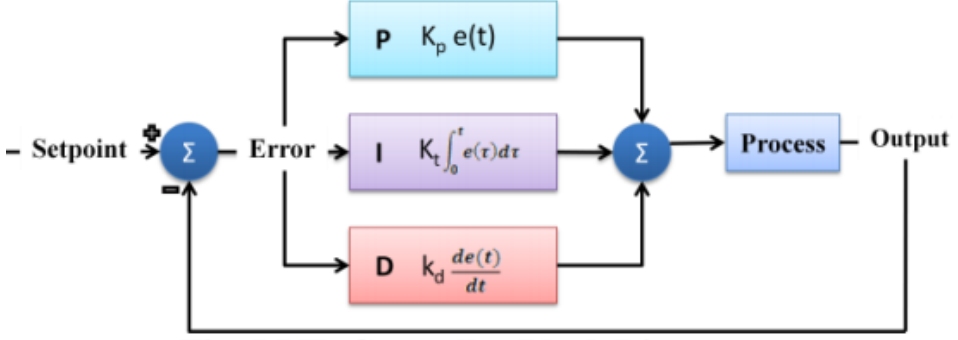
$$\dot{\theta} = \frac{U_3}{I_y} \quad (18)$$

$$\dot{\psi} = \frac{U_4}{I_z} \quad (19)$$

Bu çalışmada sadece hover kontrolü yapılacağından, atalet konum vektörü olarak z kullanılacaktır. Hover'un kontrolü altındaki tüm pervaneler tarafından üretilen itme, hexarotorin irtifa kazanarak yükselmesi için gereklidir.

HEXAROTOR KONTROL SİSTEMİ AND SPSA

Hexarotor'ün havada asılı kalmasını kontrol etmek için kullanılan PID kontrol yapısı, endüstriyel sistemlerde yaygın olarak kullanılan bir kontrol algoritmasıdır (Åström and Hägglund 2009). PID kontrol yapısı, orantısal, integral ve türev olmak üzere üç terimden oluşmaktadır. Orantılı terim (k_p) geçerli hatayı hesaplar, integral terim (k_i) geçmiş hataların toplamıdır ve türev terim (k_d) gelecekteki hataların tahmini olarak kullanılır. PID denetleyicisinin blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir (Moussid, Sayouti, and Medromi 2015).



Şekil 3. PID Blok Diyagramı

Buna göre, hexarotor hover kontrolü için kullanılacak giriş aşağıdaki gibi yazılabilir.:

$$U_1 = k_p(z - z_d) + k_d(\dot{z} - \dot{z}_d) + k_i \int (z - z_d) dt \quad (20)$$

Buradaki k_p , k_i ve k_d PID katsayıları, z_d istenen yükseklik, \dot{z}_d ise irtifa değişim hızıdır.

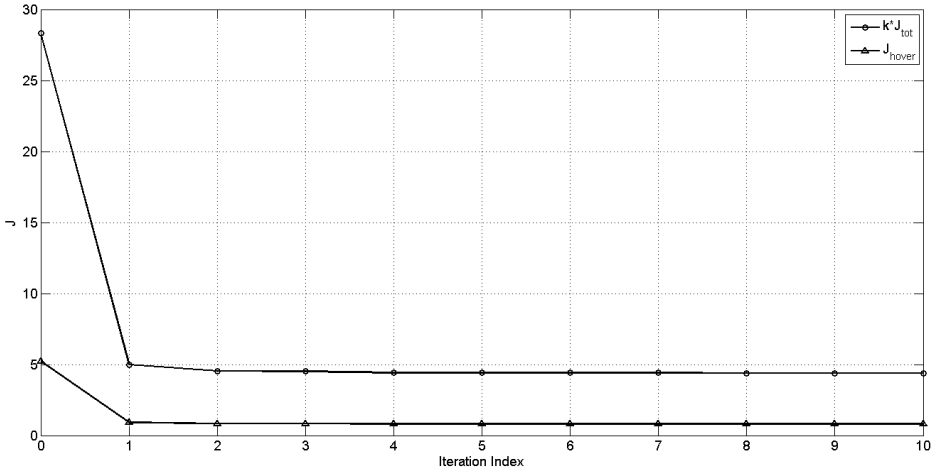
Çok değişkenli rastgele optimizasyon yöntemleri birçok mühendislik sisteminin kontrol ve analizinde önemli rol oynamaktadır. Gerçek dünyadaki optimizasyon problemlerinde, sorunun çözümünü yinelemeli olarak arayan matematiksel modellere dayalı bir optimizasyon algoritması kullanmak gerekir. Bu açıdan bakıldığında, çok değişkenli optimizasyon sorunları için SPSA optimizasyon yöntemi kullanılır. SPSA, çözüm arayışında yalnızca nesnel işlev ölçümlerini kullanan bir optimizasyon algoritmasıdır. SPSA arasında model bağımsız tahmin kontrolü (Dong and Chen 2012; Ko, Lee, and Kim, n.d.), trafik kontrolü için sinyalizasyon zamanlaması (Spall and Chin 1997), hava trafik ağı yönetimi (Kleinman, Hill, and Ilenda 1997) ve de denizde gemi trafiğinin yönetimi (Burnett 2004) birçok uygulamada başarıyla uygulanmıştır.

Bu bağlamda SPSA dikkate alındığında, yüksek boyutlu giriş alanına sahip ve nesnel değeri belirleyici olmayan birçok optimizasyon yöntemine başarıyla uygulanmıştır. SPSA iyileştirme sürecinde, ayarlanabilir parametrelerin ilk tahmin edilen değerden nesnel işlevin minimum değerine değiştirilmesi adım adım işlemdir.

Hexarotor vurgulu denetimi PID parametrelerine bağlıdır. Bu parametrelerin en uygun değerleri, yükselme süresi, kapatma süresi ve taşma gibi sistem yanıtlarına bağlıdır. Burada, sistem yanıtları ve analitik olarak tanımlanmış yanıtlar arasında bir ilişki kurmak zordur. Maliyet işlevi, J tarafından yükselme süresi, kapatma süresi ve overshoots değerlerinin bir işlevi olarak gösterilir.

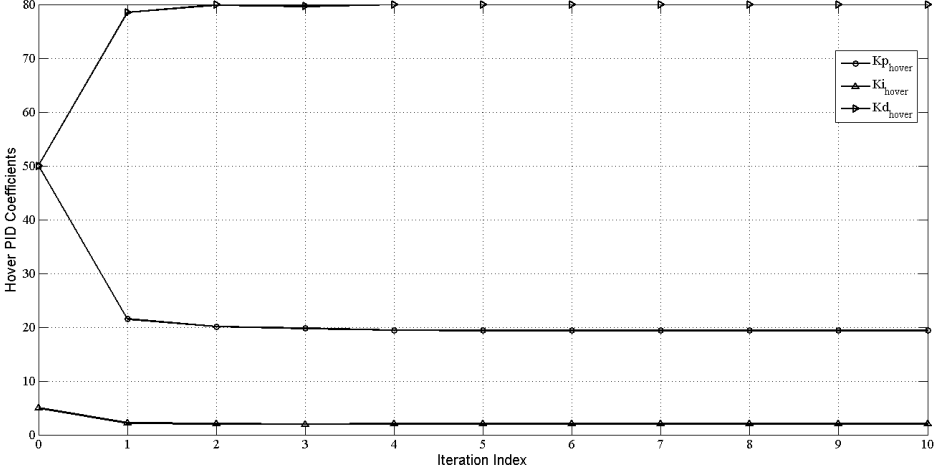
$$J = \sum g(T_{rise}, T_{set}, \%OS) \quad (21)$$

Şekil 4 maliyet fonksiyonu değişikliklerini göstermektedir.



Şekil 4. Maliyet fonksiyonu

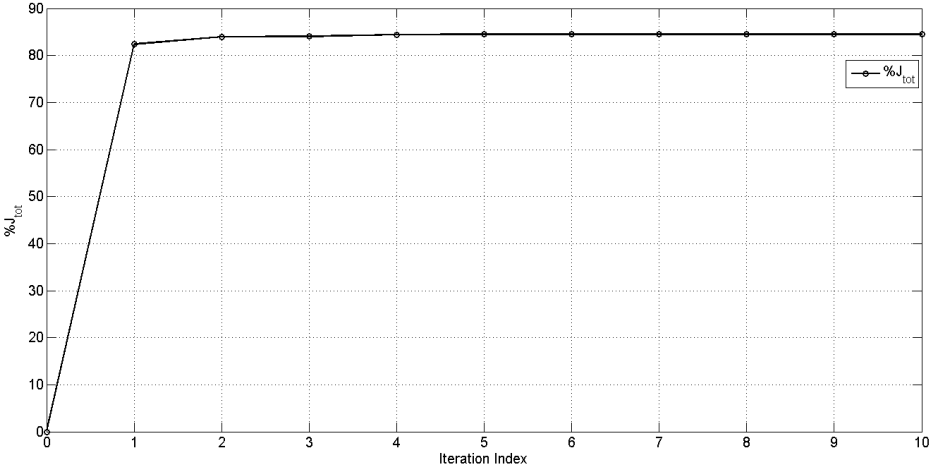
Bu çalışmada, hexakopter PID katsayıları k_p , k_i ve k_d , SPSA optimizasyon yöntemi ile elde edilmiş ve hexakopter kontrolü sağlanmıştır (Şekil 5). SPSA yinelemelere dayalı çalıştığı için algoritmanın çalışmasından elde edilen PID katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 5. PID katsayıları

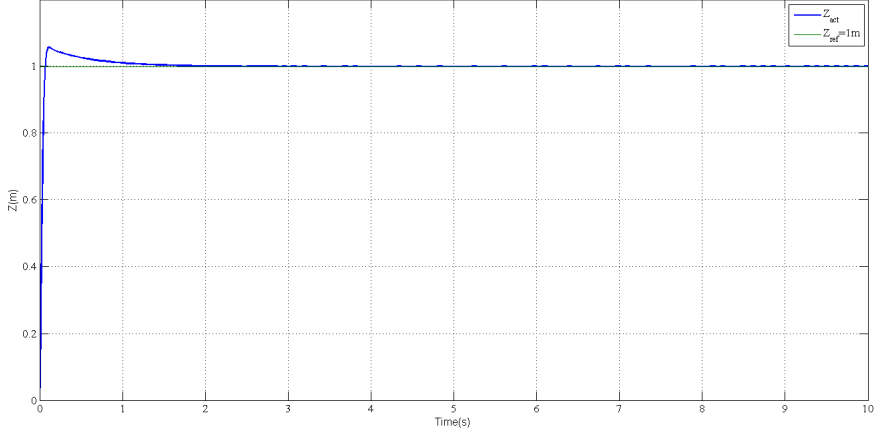
SONUÇ

Bu çalışmada, lineer dinamiklere sahip bir hexarotor hover uçuşu için PID katsayılarının belirlenmesi SPSA ile tartışılmıştır. SPSA kullanılarak, diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla optimum katsayıların belirlenmesinde zaman tasarrufunun yanı sıra maliyet fonksiyonunda da % 84 tasarruf sağlanmıştır (Şekil 6).



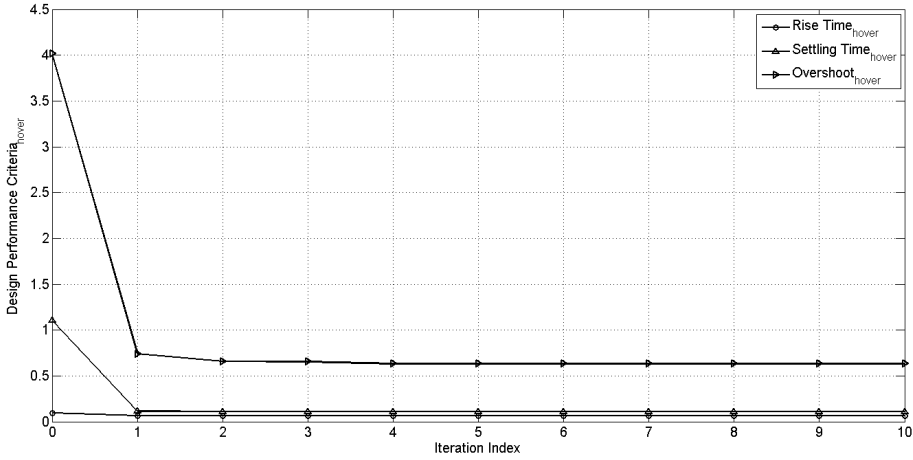
Şekil 6. Maliyet fonksiyonundaki iyileşme oranı

Optimum PID katsayıları ile 1 metre yükseklikte hexarotor hover uçuşu Matlab / Simulink ortamında test edilmiştir. Test sırasında hexarotorun verilen yörüngeyi başarıyla takip ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Hexarotor hover flight

Tasarım performans kriterlerinde aşırı davranış göstermemesi kullanılan yöntemlerin doğruluğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Design performance criteria

KAYNAKÇA

- Åström, Karl Johan, and Tore Hägglund. 2009. *Control PID Avanzado*. Pearson, Madrid.
- Burnett, Rebecca. 2004. "Application of Stochastic Optimization to Collision Avoidance." *Proceedings of the American Control Conference* 3: 2789–94. <https://doi.org/10.1109/ACC.2004.182529>.
- Dong, Na, and Zengqiang Chen. 2012. "A Novel Data Based Control Method Based upon Neural Network and Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation." *Nonlinear Dynamics* 67 (2): 957–63.
- Gururajan, Srikanth, Kyle Mitchell, and William Ebel. n.d. "Flights of a Multirotor UAS with Structural Faults: Failures on Composite Propeller(S)." Accessed January 14, 2021. <https://doi.org/10.3390/data4030128>.
- Kleinman, Nathan L, Stacy D Hill, and Victor A Ilenda. 1997. "SPSA/SIMMOD Optimization of Air Traffic Delay Cost." In *Proceedings of the 1997 American Control Conference* (Cat. No. 97CH36041), 2:1121–25. IEEE.
- Ko, Hee-Sang, Kwang Y Lee, and Ho-Chan Kim. n.d. "A Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation (SPSA)-Based Model Approximation and Its Application for Power System Stabilizers."
- Ligthart, Jeroen A J, Pakorn Poksawat, Liuping Wang, and Henk Nijmeijer. 2017. "Experimentally Validated Model Predictive Controller for a Hexarotor." *IFAC-PapersOnLine* 50 (1): 4076–81.
- Moussid, Mostafa, Adil Sayouti, and Hicham Medromi. 2015. "Dynamic Modeling and Control of a Hexarotor Using Linear and Nonlinear Methods." *International Journal of Applied Information Systems* 9 (5): 9–17.
- Singh, Kuldeep. 2018. "Modelling and Controls of a Hexarotor." Texas A&M University-Kingsville.
- Spall, James C, and Daniel C Chin. 1997. "Traffic-Responsive Signal Timing for System-Wide Traffic Control." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 5 (3–4): 153–63.

