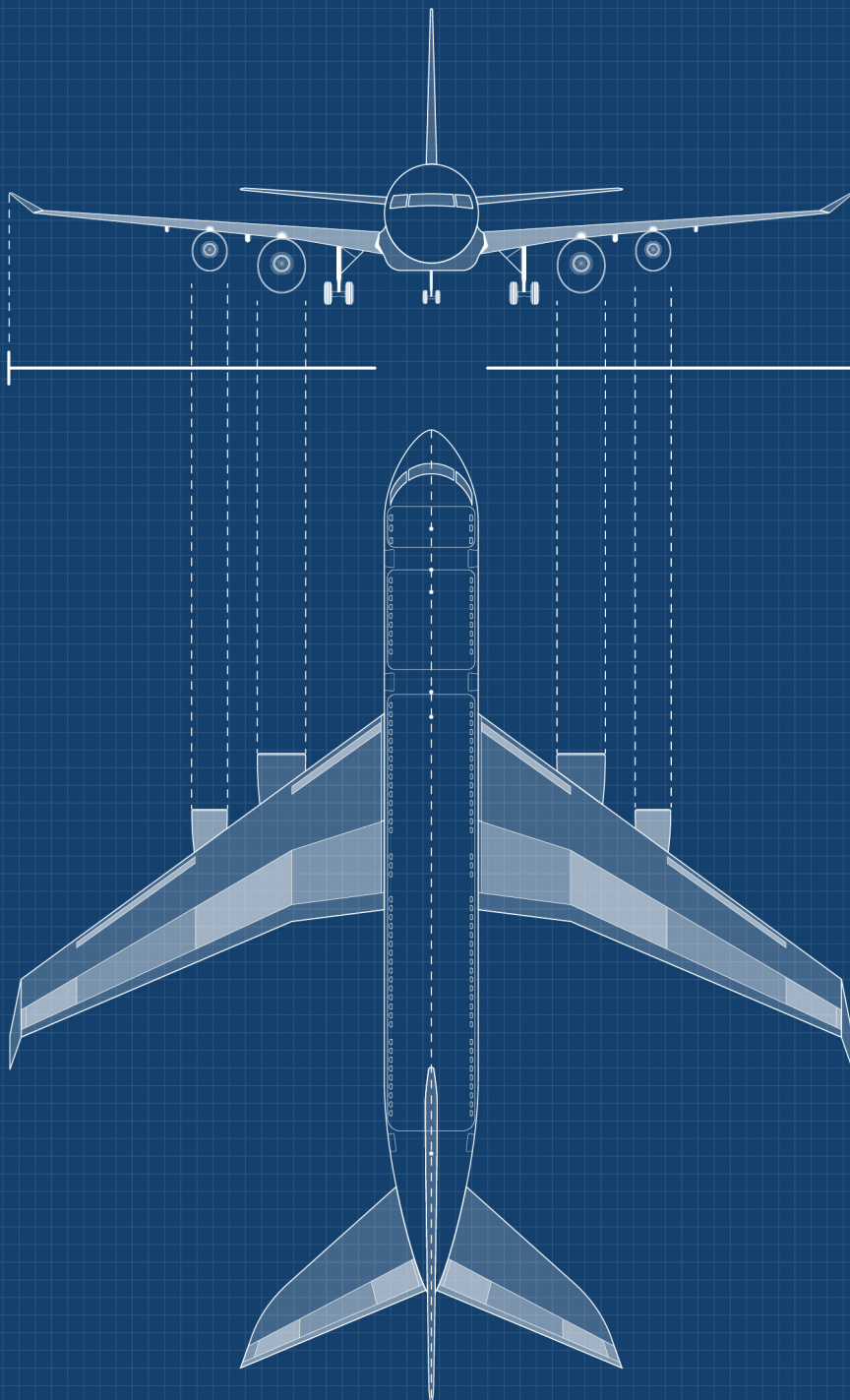


VOLUME: 2 ISSUE: 2

ASREL

Aerospace Research Letters



e-ISSN: 2980-0064

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
AEROSPACE RESEARCH LETTERS (ASREL)

E- ISSN: 2980-0064

Cilt/Volume: 2, Sayı/Issue: 2 (Aralık / December 2023)
Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

Sahibi / Owner
Necmettin Erbakan Üniversitesi / Necmettin Erbakan University

Editör / Editor-in-Chief
Dr. Öğr. Üyesi Engin Hasan ÇOPUR

Yardımcı Editörler/ Associate Editors
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Yayın Türü / Publication Type
Sürelî Yayın / Periodical

Yayın Periyodu / Publication Period
Yılda 2 kez yayınlanır (Haziran ve Aralık) / Published twice-annual (June and December)

Baskı Tarihi / Print Date
Aralık / December 2023

Yazışma Adresi / Correspondence Address
Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Yerleşkesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Dekanlığı, Köyceğiz Mah. Demeç Sok. No:42/C PK: 42140 Meram/ KONYA

Tel / Phone: (0 332) 325 20 34

Web: <https://www.asreljournal.com>
E-posta / E-mail: info@asreljournal.com

ASREL yılda 2 kez yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir /
ASREL is an international peer reviewed twice-annual journal

İçindekiler / Contents

Makale adı / Title of the article Yazar(lar) / Author(s)	Sayfa/Page
Termoplastik Kompozitten Yapılmış ve Kapı Boşluğu İçeren Uçak Gövde Parçasının Sanal Testi Virtual Testing of a Thermoplastic Composite Airframe Containing Door Cut-out <i>Bilal ATEŞ, Selen BAYRAKTAR, Mahmut ARICI, Zehra AKÇAY, Burak DURAK, Mesut UYANER</i>	56-62
Diverter'in Hava Alığı Performansına Etkisinin HAD Analizleriyle İncelenmesi Investigation of the Effect of Diverter on Air Intake Performance with CFD Analyses <i>Metin SAVCI, Orhan HIZALAN, Muhammet METİN, Yunus Emre KARADUMAN, Ali Miraç TOPÇAM, Muammer ÖZGÖREN, Mustafa DEMİRSÖZ</i>	63-77
Design and Simulation of a Model Rocket Prototype Model Roket Prototipinin Tasarımı Ve Simülasyonu <i>Oğuzhan AÇIKGÖZ, Mehmet DEMİR, Mehmet Emin ÇETİN</i>	78-85
Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi A Research on Turkish Airlines Sustainability Reports <i>Güzide KARAKUŞ</i>	86-113
Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi Katı Hal ve Füzyon Tabanlı Metal Eklemeli İmalat Teknolojileri <i>Şerafettin ÇETİN, Hakan Burak KARADAĞ</i>	114-127
Solid-State Vs. Fusion-Based Metal Additive Manufacturing Technologies Katı Hal ve Füzyon Tabanlı Metal Eklemeli İmalat Teknolojileri <i>Haydar LİVATYALI, James R. CAUDILL</i>	128-138


Termoplastik Kompozitten Yapılmış ve Kapı Boşluğu İçeren Uçak Gövde Parçasının Sanal Testi


Bilal ATEŞ¹ Selen BAYRAKTAR² Mahmut ARICI³ Zehra AKÇAY⁴
Burak DURAK⁵ Mesut UYANER⁶

¹ Şanlıurfa, Türkiye, atesbilal@msn.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8493-3654>

² Ankara, Türkiye, selenbayraktar.61@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-4428-4909>

³ TUSAS, Ankara, Türkiye, mahmutarc01@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-9975-8783>

⁴ Bursa, Türkiye, zehraakcay@hotmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-7460-4251>

⁵ Konya, Türkiye, burakedereke.21@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-9069-6547>

⁶ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği, Konya, Türkiye, muyaner@erbakan.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0003-2743-2340>

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 10.11.2022

Kabul: 08.12.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Ekosistem,
Havacılık,
Termoplastik,
Yeşil Kompozit.

Havacılık sektöründe tasarım ağırlıklarının azaltılması ve dayanımlarının artırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarla uygun malzeme arayışına girilmiştir ve istenilen mekanik özelliklerin elde edilebileceği dayanımları yüksek, hafif ve maliyeti düşük olan kompozit sınıfı ortaya çıkmıştır. Fakat termosetlerin geri dönüştürülemezliği bir çözüm olmamıştır. Dünya ekosisteminin bozulması, doğanın kirlilik düzeyinin artmasına karşılık doğaya zararı minimuma indirmek amacıyla yeşil kompozitler üretilmeye başlanmış ve gün geçtikçe bu konu hakkında çalışmalar artmış ve artmaya devam etmektedir. Bu çalışma ile uçağın ana gövdesinde Poliamid – Nylon 6/6 %50 Uzun Cam Elyaf Takviyeli kompozit ile üreterek uçağın dış basınç yüküne sağlayabileceği dayanımı araştırılmıştır. Yapılan gerilme analizi çalışmalarında gerçek test maliyet ve zamandan tasarruf etmek için sanal test yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen sanal testler MSC Apex sonlu elemanlar analiz programıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada MSC Apex uygulamasının kompozit serim için özel çalışması olması MSC Apex tercih edilmesinde önemli rol oynamıştır. Çalışmada dikkat çekilmek istenen asıl nokta ekosisteme faydalı olacak bu çalışmalara önem verilmesi gerektiğini vurgulamaktır. Analiz sonuçlarından oluşan stres dağılımı ve büyüklüklerine bakıldığında malzemenin 12.8 mm (normalden kalın) olmasına rağmen NASA şartları hedef alınarak oluşturulan 28,5psi basınç yüküne uygun olmadığı malzemenin aktığı görülmektedir.

Virtual Testing of a Thermoplastic Composite Airframe Containing Door Cut-out

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 10.11.2022

Accepted: 08.12.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

Ekosistem,
Airline,
Thermoplastic,
Green Composite.

In the aviation sector, studies are carried out to reduce the design weights and increase their strength. With these studies, a search for suitable materials has been started and a composite class with high strength, light weight and low cost has emerged, where the desired mechanical properties can be obtained. However, the inability to recycle thermosets was not an adequate solution. Despite the deterioration of the world's ecosystem and the increase in the pollution level of nature, green composites have started to be produced in order to minimize the damage to nature, and studies on this subject have increased and continue to increase day by day. The aim of this study is to observe the resistance that the aircraft can provide to the external pressure load by producing Polyamide- Nylon 6/6 50% Long Glass Fiber Reinforced composite in the main body of the aircraft. In the stress analysis studies, the virtual test method was used to save real test cost and time. Virtual tests were carried out with the MSC Apex finite element analysis program. The fact that the MSC Apex application was a special study for composite laying played an important role in the preference of MSC Apex in the study. The point to be noted in the study is to emphasize that these studies that will be beneficial to the ecosystem should be given importance. Considering the stress distribution and sizes resulting from the analysis results, it is seen that although the material is 12.8 mm (thicker than normal), the material is not suitable for the 28.5psi pressure load created by targeting NASA conditions.

Atıf/Citation: Ateş, B., Bayraktar, S., Arıcı, M., Akçay, Z., Durak, B., & Uyaner, M. (2023). Termoplastik kompozitten yapılmış ve kapı boşluğu içeren uçak gövde parçasının sanal testi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 56-62. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.1>



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ

Türkiye’de ve Dünya’da havacılık sektörü sürekli gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişim süreci askeri, ticari, ekonomik ve teknolojik ihtiyaçlar doğrultusunda gerçekleşmektedir. Türkiye’de savunma sanayi projeleri ile geliştirmekte olduğu MMU, İHA ve SİHA teknolojileri, dünya çapında büyük şirketlere parça üretimleri, verimli AR-GE çalışmaları gibi faaliyetlerin devamı için birtakım yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojinin bu denli geliştiği, artan yakıt fiyatları ve kaza riskleri başlıca taşımacılık sektöründe uçak, araba, otobüs vb. tasarım ağırlıklarının azaltılması ve dayanımlarının artırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle malzeme olarak istenilen mekanik özellikleri elde edinebilen, dayanımları yüksek, hafif ve maliyeti düşük olan kompozit malzeme sınıfı ortaya çıkmıştır.

Kompozit malzemelerin kullanılmasının başlıca faydaları yüksek mekanik özellikleridir. Bunlar; önemli ölçüde yarattığı hafiflik ve elastisite modülü yüksek parça üretimi gibi imalatta en dikkat edilen unsurlardır. Günümüzde özellikle Boeing 787 Dreamliner ve Airbus A350 XWB gibi uçaklarda, uçak gövdesinin %50’sinden fazlası kompozit malzemelerle üretilmektedir (Yetik, 2023). Uçak yapısal parçalarının yanı sıra kompozit malzemelerin yoğun olarak kullanıldığı diğer bir yer uçağın iç kısmıdır. Son birkaç yıl içinde tasarımcılar zemin panoları, kabin bölücüler, yapısal döşeme, duvar ve tavan panelleri, bagaj kapıları vb., üretmek amacıyla kompozit malzemeye yönelmiştir. Termoplastik kompozitlerin termosetlerden ve birçok metalden hafif olması bu çalışmalara ağırlık verilmesinde önemli bir faktördür (Kıyasöz, 2018).

Malzeme, mühendislik, mimarlık, sanatsal çalışmalar ve tasarımlar gibi pek çok alanda ürünün yapımında veya bir fikre aracılık etmek üzere kullanılan nesnelere denir. Malzemenin bir bilim dalı olarak ele alınması fikri farklı disiplinlerin iş birliği, çağın sunduğu teknolojik imkanlar ve insanoğlunun bitmek bilmeyen arzusu sayesinde yeniye ve daha iyiyeye ulaşmak için hiç durmayacak bir alandır. Hibrit ve kompozit malzemeler, süper iletkenler, termo elektrik malzemeler, ileri seramikler, süper alaşımlar, şekil hafızalı malzemeler, biyomalzemeler ve nano malzemeler gibi son dönemde öne çıkan malzemeler mühendislere, doktorlara, tasarımcılara yeni olanaklar sunar ve geleceği şekillenmesine yardımcı olur (Hummel, 2004; Ohring, 1995).

Kompozit malzemeler; gelişen teknoloji ihtiyaçlarının bir kısmının geleneksel malzemeler tarafından tam anlamıyla karşılanamaması sonucu kullanımı artan malzemelerdir. Ancak bu malzemelerin matris ve takviye elemanı olmak üzere iki kısımdan oluşması yeniden kullanılabilirlik açısından sorun teşkil etmektedir. Buna ek olarak kompozitin hammaddesi olan petrol, sürdürülebilir bir kaynak değildir. Günümüzde artan ekolojik sorunlar (sınırlı petrol rezervi, artan karbon ayak izi...) dolayısıyla insanlık yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir malzeme arayışına girmiştir. Çevre Koruma Ajansı [NPA] tarafından yapılan bir çalışmaya göre 2015 yılında ABD’de üretilen toplam plastik atığın yalnızca %9’unun geri dönüştürülürken kalan %91’inin doğrudan çöplüklere gittiği görülmüştür (Kopparthy & Netravali, 2021). Çevre dostu yeşil kompozitler hızla çalışmalarda ilgi alanına girmektedir (Awais vd., 2021).

Yeşil kompozitler üç farklı yolla elde edilebilir;

1. Matris ve takviye elemanı biyo-bazlı polimerlerdir, yani matris elementi biyo reçine olarak PLA gibi biyo bazlı polimerden ve takviye elemanı doğal liflerden elde edilir.
2. Takviye elemanı olarak doğal lifler, matris olarak ise epoksi ve polyester gibi petrol bazlı reçineler kullanılır.
3. Takviye elemanı olarak karbon ve cam elyaf, matris olarak biyo bazlı reçineler kullanılır (Temesgen, 2021).

Malzemeleri bir kompozit oluşturmak için birleştirmenin temel amacı hem takviye elemanı hem de matris özelliklerinden olabildiğince faydalanmaya çalışmaktır. Örneğin, uçak yapılarında kullanılan karbon-epoksi kompozit, epoksi reçineye gömülü karbon fiberlerin bir karışımıdır. Karbon fiber takviyesi, kompozite yüksek sertlik ve mukavemet sağlarken, epoksi matris süneklik sağlar. Tek başlarına

kullanıldıklarında karbon fiberler ve epoksi, fiberler çok kırılğan ve epoksi çok zayıf olduğundan uçak yapısal malzemeleri olarak uygun değildir, ancak bir kompozit olarak bir araya getirildiklerinde birçok mükemmel özelliğe sahip yüksek performanslı bir malzeme oluştururlar. Kısaca kompozit malzemeleri tipik olarak mükemmel mekanik özellikleri, daha geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında hafifliği ve yüksek performansı ve aerodinamik olarak daha verimli yapısal konfigürasyonlar üretmek için yapılarını uyarlama yeteneği ile karakterize edilebilir (Soutis vd., 2019). Uçaklarda kompozitlerin kullanıma girmesinin en önemli sebebi askeri çalışmalardır. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte bu malzeme tipi sivil havacılık içinde vazgeçilmez bir hal almıştır (Gopi vd., 2017).

Kompozit malzemelerin birden fazla fazdan oluşması da geri dönüşümünü zorlaştıran önemli etkenlerden biridir. Bu sorunun çözümü için kirliliği azaltmayı hedefleyen yeşil kompozitler üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Yeşil kompozit üretimini üç farklı şekilde yapmak mümkündür. Yalnızca takviye elemanı doğal liflerden oluşturulabilir, yalnızca matris kısmı biyopolimerlerden oluşabilir ya da hem matris kısmı biyopolimer hem de takviye elemanı doğal lif olan kompozitler üretilebilir.

YÖNTEM

Çalışmanın amacı, uçağın ana gövdesinde Poliamid – Naylon 6/6 %50 Uzun Cam Elyaf Takviyeli kompozit ile üreterek uçağın dış basınç yüküne sağlayabileceği dayanımı gözlemlemektir. Yapılan gerilme analizi çalışmalarında gerçek test maliyet ve zamandan tasarruf etmek için sanal test yöntemi kullanılmıştır. Yapılan sanal testler MSC Apex sonlu elemanlar analiz programıyla gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle sayısal analizlerde (MSC Apex sonlu elemanlar paket programında) kompozit malzemelerin yapısal özelliklerini belirleyerek Poliamid – Naylon 6/6 %50 Uzun Cam Elyaf Takviyeli plakalar üretilmiştir (Mathijsen, 2016). Son zamanlarda sanayi ve araştırmacıların büyük ilgisini çeken kompozitlerin mekanik özelliklerini arttırmanın bir yolu, fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin içerisine (grafen, karbon nanotüp veya nano kil gibi) nano boyutta güçlendirici parça eklenmesidir (Sarasini vd., 2017; Uyaner & Yar, 2019). Matrisin içerisine veya cam fiber-karbon fiberle güçlendirilmiş kompozitin içerisine CNT ilavesi kompozitin dayanımının artmasını sağlar.

Kompozitin üretiminde 45 derecelik açılarla bir yapı oluşturması ve üretim kolaylığı sağlaması için eleman kalınlıkları 0.8 mm olarak $[0/45/-45/90]_{2s}$ diziliminde dört eksenli serim yapılmıştır. Şekil 1’de kullanılan yöntemin MSC Apex’de hangi açı ve kalınlıklarda nasıl modellendiği gösterilmiştir.

Ply ID	Color	Material	Thickness	Angle
1	Blue	PA66+GF50	0,80 mm	0,00 °
2	Pink	PA66+GF50	0,80 mm	45,00 °
3	Orange	PA66+GF50	0,80 mm	-45,00 °
4	Light Blue	PA66+GF50	0,80 mm	90,00 °
5	Light Red	PA66+GF50	0,80 mm	90,00 °
6	Grey	PA66+GF50	0,80 mm	-45,00 °
7	Yellow	PA66+GF50	0,80 mm	45,00 °
8	Purple	PA66+GF50	0,80 mm	0,00 °
9	Green	PA66+GF50	0,80 mm	0,00 °
10	Red	PA66+GF50	0,80 mm	45,00 °
11	Blue	PA66+GF50	0,80 mm	-45,00 °
12	Yellow	PA66+GF50	0,80 mm	90,00 °
13	Blue	PA66+GF50	0,80 mm	90,00 °
18	Orange	PA66+GF50	0,80 mm	-45,00 °
19	Purple	PA66+GF50	0,80 mm	45,00 °
20	Grey	PA66+GF50	0,80 mm	0,00 °

Şekil 1. Malzeme Serimi

Darbelere karşı daha dayanıklı olması için mukavemet, sertlik ve yorulma dayanımı gibi özelliklerini arttırmak için cam elyafı ile takviye edilebilir olduğundan PA 66 malzememizi seçtik. PA 66 malzememize %50 uzun cam takviyesi yaptık. Poliamid – Naylon 6/6 %50 Uzun Cam Elyaf Takviyeli durumunda malzememiz darbelere karşı daha dayanıklı ve daha mukavemetli olmuştur. Poliamid – Naylon 6/6 %50 Uzun Cam Elyaf Takviyeli malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Poliamid – Naylon 6/6 %50 Cam Elyaf Takviyeli Malzeme Özellikleri

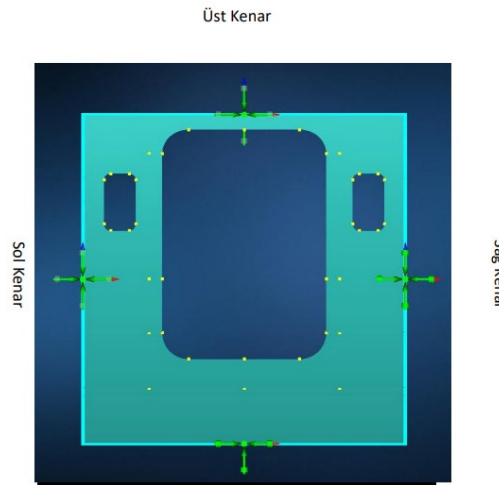
Young Modülü (Elastite Modülü) (E)	15400 MPa
Poisson Oranı (ν)	0,36
Yoğunluk (ρ)	1,58 g/cm ³
Akma Gerilimi (σ_y)	115 MPa

BULGULAR

Sonlu elemanlar analizlerinde sınır koşulları oldukça önemli kriterlerdir. Modele uygulanacak yüklemenin yeri, yükleme miktarı ve yüklemenin şekli bu kriterler sonucunda belirlenmektedir. Asıl olarak ise modelin tutturulan kenar, köşe veya yüzeylerinin rotasyon ve deplasman serbestlik derecelerini ve bunlara ek olarak sonlu elemanlar analizinde bilinen özel sınır şart türleri varsa bu kriterler doğrultusunda sınıflandırılmaktadır. Yapılan çalışmalar Çizelge 2’de belirlenen sınır şartlarında uygulanmıştır. Sınır koşul uygulama yerleri Şekil 2 de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Sınır Koşulları

	Yer Değiştirme			Rotasyon		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Alt Kenar	0	0	0	Sabit	Sabit	Sabit
Üst Kenar	0	0	0	Sabit	Sabit	Sabit
Sağ Kenar	0	0	0	Sabit	Sabit	Sabit
Sol Kenar	0	0	0	Sabit	Sabit	Sabit



Şekil 2. Model Kenarları

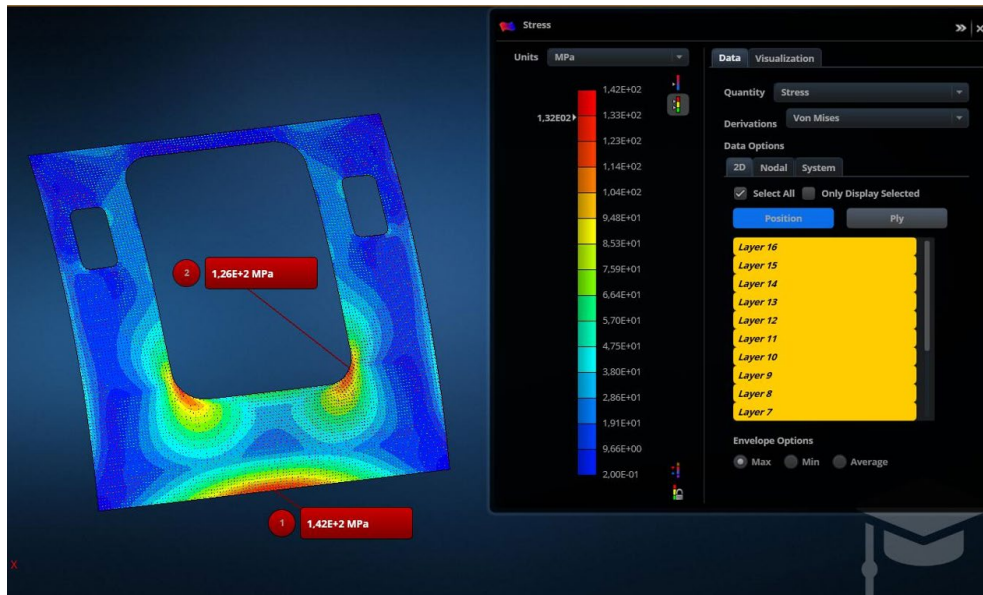
Çizelge 3. Panel Boyutları

	Panel Boyutları		
	Uzunluk(mm)	Genişlik(mm)	Kalınlık(mm)
Tüm Model	1219,53	1219,2	5
Pencereler	214,61	120	0
Kapı	852,81	620	0

Çizelge 3’de çalışmada kullanılan panel boyutları gösterilmektedir. Şekil 3’de ise yapıya uygulanacak olan basınç yükü gösterilmiştir. Uçak içi basınçlandırma sistemi insan sağlığını göze almasının haricinde uçağın yapısal hasarını önlemek için de 8000 feet irtifaya eş değer basınçlandırılır. Bu durumda 40 000 feet yükseklikte bile kabine uygulanan basınç 8.2 psi olmaktadır. Ancak gövde tasarımında NASA testlerde tasarımın 28.5 psi (0.1965 MPa) kadar tatmin edici sonuçlar vermesini öngörmektedir (Yovanof vd., 2012). Çalışmamızda biz de 28.5 psi basınç girdisini kullandık.



Şekil 3. Basınç Yükü



Şekil 4. Stres Analiz Sonucu

Analiz sonuçlarından oluşan stres dağılımı ve büyüklüklerine baktığımızda (Şekil 4) malzemenin 12.8 mm (normalden kalın) olmasına rağmen NASA şartları hedef alınarak oluşturulan 28,5psi basınç yüküne uygun olmadığı malzemenin aktığı görülmektedir.

SONUÇ / ÖNERİ

Bu çalışmada havacılıkta uçak gövdelerinde tercih edilen geri dönüşümü olmasa da sağlamlığına dayanılarak tercih sebebi olan termoset kompozit yapıları yerine daha çevreci ve geri dönüşülebilir olmak için termoplastik yapılar kullanmayı hedef almıştır. Yeterli araştırmalardan sonra Naylon 6/6 %50 Uzun

Cam Elyaf Takviyeli 16 katman olacak şekilde termoplastik kompozit yapı kullanılarak yeterli dayanımın sağlanabileceği ve geri dönüşüme uygun bir gövde tasarımı oluşturabileceği hedeflenerek belirli sınır ve koşullarda sanal test gerçekleştirilmiştir.

İlerleyen malzeme çalışmalarında termoplastik kompozitlere daha fazla önem verilmesini bu çalışmaların artırılarak daha mukavemetli termoplastikler elde edilerek gelecekte daha da yaygınlaşacak olan havacılıkta termosetlere göre daha fazla kullanılmasını ister ve ileride yapılacak çalışmalar ile daha iyi sonuçların alınacağını beklemekteyiz.

Teşekkür

Bu çalışmadaki analizlerde kullandığımız MSC Apex Öğrenci versiyonuna ve çalışmaya verdikleri desteklerden dolayı Bias Mühendislik Ltd. Şti.'ne teşekkür ederiz.

REFERENCES

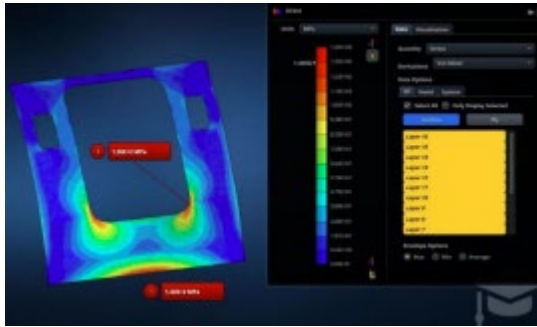
- Awais, H., Nawab, Y., Amjad, A., Anjang, A., Md Akil, H., & Zainol Abidin, M. S. (2021). Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100082. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2020.100082>
- Gopi, S., Balakrishnan, P., Sreekala, M. S., Pius, A., & Thomas, S. (2017). Green materials for aerospace industries. İçinde *Biocomposites for High-Performance Applications* (ss. 307-318). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100793-8.00011-9>
- Hummel, R. E. (2004). No Ceramics Age? İçinde *Understanding Materials Science: History · Properties · Applications* (ss. 287-325). Springer New York. https://doi.org/10.1007/0-387-26691-7_15
- Kırsasöz, A. A. (2018). *Alüminyum matrisli titanyumdiborür in situ takviyeli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu* [Yüksek Lisans]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Kopparthy, S. D. S., & Netravali, A. N. (2021). Review: Green composites for structural applications. *Composites Part C: Open Access*, 6, 100169. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100169>
- Mathijssen, D. (2016). Leading the way in thermoplastic composites. *Reinforced Plastics*, 60(6), 405-407. <https://doi.org/10.1016/j.repl.2015.08.067>
- Ohring, M. (1995). Introduction to Materials Science and Engineering. İçinde *Engineering Materials Science* (ss. 1-II). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012524995-9/50025-8>
- Sarasini, F., Santulli, C., Scarponi, C., & Tirillò, J. (2017). Green composites for aircraft interior panels. *International Journal of Sustainable Aviation*, 3(3), 252. <https://doi.org/10.1504/IJSA.2017.10007968>
- Soutis, C., Yi, X., & Bachmann, J. (2019). How green composite materials could benefit aircraft construction. *Science China Technological Sciences*, 62(8), 1478-1480. <https://doi.org/10.1007/s11431-018-9489-1>
- Temesgen, A. G. (2021). *A research on the use of enset woven fabric structures for the applications of sound absorption and biodegradable composite material development* [Doktora]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Uyaner, M., & Yar, A. (2019). Nano Elyaf Takviyeli Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 10-19. <https://dergipark.org.tr/en/pub/neufmbd/issue/44699/518455>
- Yetik, D. N. (2023). *Kompozit malzemeler ticari havacılık sektörünü nasıl değiştirdi?* Boarding Info. <https://boardinginfo.com/kompozit-malzemeler-ticari-havacilik-sektorunu-nasil-degistirdi/>
- Yovanof, N., Lovejoy, A. E., Baraja, J., & Gould, K. (2012). Design, analysis and testing of a PRSEUS pressure cube to investigate assembly joints. *2012 Aircraft Airworthiness and Sustainment Conference, NF1676L-13922*.

EXTENDED ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to observe the resistance that the aircraft can provide to the external pressure load by producing Polyamide - Nylon 6/6 50% Long Glass Fiber Reinforced composite in the main body of the aircraft.

Theory and Methods: The aim of the study is to observe the resistance that the aircraft can provide to the external pressure load by producing Polyamide - Nylon 6/6 50% Long Glass Fiber Reinforced composite in the main body of the aircraft. In the stress analysis studies, the virtual test method was used to save real test cost and time. Virtual tests were carried out with the MSC Apex finite element analysis program.

Results:



When we look at the stress distribution and size of the analysis results (Figure 4), it is seen that although the material is 12.8 mm (thicker than normal), the material is not suitable for the 28.5psi pressure load created by targeting NASA conditions.

Conclusion: We want thermoplastic composites to be given more importance in further material studies, and by increasing these studies, more durable thermoplastics will be obtained and used more than thermosets in aviation, which will become more widespread in the future, and we expect better results with future studies.

Diverter'in Hava Alığı Performansına Etkisinin Had Analizleriyle İncelenmesi

Metin SAVCI¹ Orhan HIZALAN² Muhammet METİN³ Yunus Emre KARADUMAN⁴ Ali Miraç TOPÇAM⁵ Muammer ÖZGÖREN⁶ Mustafa DEMİRSÖZ⁷

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, metinn.savci@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-3843-4557>

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, orhanhizalan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6837-8420>

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, metinmuhammett@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-2124-0531>

⁴ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, yunusekaraduman@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1995-2813>

⁵ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, alimiractopcam@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2682-4353>

⁶ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, mozgoren@erbakan.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9088-5679>

⁷ TUSAŞ, Ankara, Türkiye, mustafa.demirsöz@tai.com.tr, <https://orcid.org/0000-0003-3337-4714>

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 28.05.2023

Kabul: 02.12.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Diverter,
Sınır Tabaka,
Basınç Geri Kazanımı,
Hava Alığı.

Savaş uçakları uçuş esnasında ciddi problemlerle karşı karşıya kalabilmektedirler. Bu problemlerden bir tanesi hava alığına gelen havanın türbülanslı olması ve uçuş esnasında meydana gelen sınır tabakalardır. Bu olumsuzlukları önlemek için tasarlanan diverter (yönlendirici), hava alığının dolayısıyla da motor performansının artışı için kullanılmaktadır. Diverter çalışma prensibi olarak gövdeden gelen türbülans değeri yüksek havanın motora alınmadan tahliyesini amaçlayan gövde ile motor arasına yerleştirilen bir parçadır. Bu çalışmanın amacı sesüstü hava araçlarında en yaygın kullanılan, iç ve dış akışı kapsayan Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter'in, yüksek performans, yüksek basınç geri kazanımı ve düşük ağırlık gerekliliklerini sağlaması sebebiyle hesaplamalarını ve analizlerini yapmaktır. Analiz için F-22 Raptor savaş uçağı seçilmiştir. Uçağın hava alığı kısmına kadar olan geometrisi elde edilerek sınır tabaka boyutunun belirlenmesi için Ansys-Fluent programında M=0,8 hız değeri için analiz yapılmıştır. Elde edilen sınır tabaka kalınlığına göre diverter yüksekliği ayarlanmıştır. Diverter uygulanan ve diverter uygulanmayan modeller üç boyutlu çizilmiş ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yapılarak motor performans parametreleri incelenmiştir. Bu analizler M=0,8, M=1,2 ve M=1,6 hızlarında 30000 ft irtifada yapılmıştır. Analiz programında sınır tabaka bölgesinin doğru çözümlenebilmesi ve SST-k ω türbülans metodunun doğru çalışması için y+ değeri 1'den düşük tutulmuştur. Ayrıca viskoz bölgeyi fark edebilecek şekilde geçiş ağ yapısı oluşturulmuştur. Akış hacminde belirlenen sınır şartları ile ağdan bağımsızlık çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen değerler literatürde bulunan benzer çalışmalarla kıyaslanarak doğrulukları değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler birbirleri ile kıyaslanarak diverter'in sürükleme katsayısını ve sınır tabaka kalınlığını azalttığı, kütle debisini ve basınç geri kazanımını ise artırdığı görülmüştür.

Investigation of the Effect of Diverter on Air Intake Performance with CFD Analyses

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 28.05.2023

Accepted: 02.12.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

Diverter,
Boundary Layer,
Pressure Recovery,
Intake.

Fighter jets can face serious problems during flight. One such problem is turbulent air entering the air intake and the resulting boundary layer during flight. To prevent these issues and increase engine performance, a diverter is designed and used. The diverter is a component placed between the body and engine and evacuate highly turbulent air away from the engine before it is taken in. This study aims to calculate and analyze the most commonly used Channel Type Boundary Layer Diverter, which covers both internal and external flow, in supersonic aircraft due to its high-performance, high-pressure recovery, and low weight requirements. The F-22 Raptor fighter plane was selected for analysis. The geometry of the aircraft up to the air intake was obtained, and analysis was conducted using the Ansys-Fluent program at a speed of M=0,8 to determine the boundary layer thickness. The height of the diverter was adjusted based on the obtained boundary layer thickness. Models with diverter and diverterless were created in 3D, and computational fluid dynamics (CFD) analyses were conducted to examine motor performance parameters. These analyses were conducted at speeds of M=0,8, M=1,2, and M=1,6 at an altitude of 30,000 ft. To correctly resolve the boundary layer section and ensure that the SST-kw turbulence model works correctly, the y+ value was kept below 1. Additionally, a transition mesh structure was created to detect the viscous region. Independence studies were conducted under flow volume-defined boundary conditions. The values obtained were compared with similar studies in the literature to evaluate their accuracy. The results showed that the diverter reduced drag coefficient and boundary layer thickness while increasing mass flow rate and pressure recovery.

Atıf/Citation: Savcı, M., Hizalan, O., Metin, M., Karaduman, Y. E., Topçam, A. M., Özgören, M., & Demirsöz, M. (2023). Diverter'in hava alığı performansına etkisinin Had analizleriyle incelenmesi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 63-77. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.2>



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ

Savaş uçakları hem ses altı hem de ses üstü hızlarda sıkıştırılabilir akış şartlarında uçarlar. Savaş uçaklarının en önemli performans parametrelerinden bir tanesi motor verimidir. Savaş uçakları yüksek hızlarda uçarlarken ciddi problemlerle karşı karşıya kalabilmektedirler. Bu problemlerden birisi motora gelen havanın türbülanslı etkilere ve sınır tabaka akışına maruz kalmasından dolayı motora giren havanın kütleli debi ve basınç değeri olumsuz etkilenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında genellikle bu olumsuz durumlar üzerinde durulduğu görülmektedir. Arif ve Salamat (2018) tarafından ele alınan çalışmada F-16 savaş uçağının diverter performansı incelenmiştir. Bu çalışmada CAD modeli çizilip uygun ağ yapısıyla farklı ses hızları ve hücum açıları analiz edilmiştir. Diverter'in ses altı hızlarda etkili olarak motor giriş performansını arttırdığını ancak ses üstü hızlarda daha düşük verimler elde edildiği çıktı olarak verilmiştir. Meroney tarafından yapılan tez çalışmasında diverter için eğri yüzeyler için sınır tabaka çalışması yapılmıştır. Meroney yaptığı bu çalışması sonucunda sınır tabaka kalınlığının değişik konumlardaki değerleri elde edilmiş ve sonuçlar gösterilmiştir (Meroney, 2012). Svensson yaptığı çalışmada öncelikli olarak diverter uygulanmayan tasarımı ele alarak uygun yüzey ağ yapısı ile analizler ve tasarımlar yapmıştır. Sonuçlarda basınç geri kazanımı, kaldırma-sürüklenme değerleri gibi değerler çıktı olarak alınmış ve değişen ses hızına göre incelenmiştir. Daha sonra tümsek şeklindeki bir yönlendirme ile sınır tabakanın büyük kısmını yönlendirmeyi başarmış ve böylece motor verimini ek bir sistem kullanmadan uygun bir geometri ile arttırabilmiştir (Svensson, 2008). Daha önce yapılmış olan bu çalışmalar sonuçların doğruluğunun incelenmesinin analizler için oluşturulacak ağ yapısı ve sınır koşulları seçilmesinde örnek alınmıştır. Bu çalışma diverter kullanımıyla hava alığı performansının iyileştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Yüksek hızlarda hava daha çok türbülanslı şekilde olmaktadır. Türbülanslı hava akışın önemli sorunlarından biridir. Çünkü türbülanslı hava şartlarında akış üzerinde düzensizlikler ve karışıklıklar mevcuttur. Ayrıca türbülans etkisine ek olarak hava, motorun hava alığına ulaşmadan önce uçağın dış yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Sınır tabaka, bir katı yüzey ile akışkan arasındaki sürtünmenin etkisiyle akışın geciktirildiği viskoz sürtünme kuvvetlerinin etkili olduğu, bir yüzeye bitişik ince dönümlü akış bölgesidir (Anderson, 2017). Cismin boyutuna kıyasla sınır tabakasını çok ince bir tabakadır. Ancak, sınır tabaka geometrik olarak akış alanının yalnızca küçük bir bölümünü kaplamasına rağmen, bunun sürtünme ve cisme olan ısı transferi üzerindeki etkisi çok fazladır. Dolayısıyla gelen havanın, motorun hava alığına uygun bir şekilde giremediğinden ötürü toplam basınç miktarında düşüşe yol açması, motor hava alığına giren havanın kütleli debisinin azalması başta olmak üzere motorun performansında bir düşüş meydana getirmektedir. Bu olumsuzluğun önüne geçmek için oluşan sınır tabakanın tamamen ya da büyük bir miktarının hava alığından uzaklaştırılması gerekir. Savaş uçakları gövde boyunca eğrisel yüzeyler içerdiğinden, eğri yüzeylerde sınır tabaka gelişimi incelenmiştir. Eğri yüzeyler akış ayrılmasını tetiklemekte, sınır tabaka, yerdeğiştirme ve momentum kalınlığının da artmasına neden olabilmektedir. Savaş uçakları başta olmak üzere havacılık teknolojisinde diverter adı verilen yapılar meydana gelen bu sınır tabakayı tahliye etmek için kullanılırlar (Goldsmith; Seddon, 1993). Diverter'ler hava alığını gövdeden ayıran yapılardır. Diverter çalışma prensibi olarak gövdeden gelen türbülans değeri yüksek ve sınır tabakalı havanın motora alınmadan tahliyesini amaçlayan bir yapıdır. Ses altı seviyelerde dâhil olmak üzere, ağırlıklı olarak ses üstü uçuş koşullarında hareket eden hava araçlarında motora giren havanın uygun hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Diverter yapıları, basınç geri kazanımını ve motorun hava alığına alınan havanın kütleli debisini arttırarak motor performansı üzerinde iyileştirici bir etkiye sahiptir. Diverter, uçuş esnasında meydana gelen sınır tabakayı tahliye etmektedir, fakat uçağın ağırlığının ve dolayısıyla oluşacak sürtünmesinin artmasına da neden olur.

Havacılık teknolojisine bakıldığında yaygın olarak 4 tip diverter kullanılır. Bunlar; kademeli diverter, sınır tabaka bypas kanal tipi, sınır tabaka emme tipi ve kanal tipi sınır tabaka diverter olarak sınıflandırılır (Pehlivanoglu, 2013). Bu diverter tipleri karşılaştırılmış, uçuş koşulları, uçak yapısına etkisi ve proje gereksinimi göz önüne alınarak ses üstü uçuş hızlarında iyi bir performans sergilemesi, uçağın

yapısal ağırlığını çok arttırmaması ve hava alığı ile gövde arasına belirli bir mesafede tam olarak ayrılabilmesinden dolayı Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter detaylı analiz için seçilmiştir. Analizlerin yapılması için örnek bir uçak modeline ihtiyaç vardır. Bunun için F-22 Raptor savaş uçağı modeli seçilmiştir. Diverter uygulanmayan ve seçilen diverter tipi olmak üzere üç boyutlu F-22 Raptor savaş uçağı modelleri Siemens-NX programında çizilmiştir. Model çizilirken analiz işleminde kolaylık sağlamak amacıyla referans uçağın motor kısmının yarısına kadar olan geometrisi çizilmiştir. Çizilen katı modeller Ansys-Fluent ortamına aktarılmış ve ağ yapısı oluşturulurken hassas çözüm yakalamak amacıyla ortogonal kalite değeri en az 0,1 olacak şekilde 20 inflation tabakası eklenerek sınır tabakanın bu tabaka içinde kalması sağlanmıştır. Ağ yapısı oluşturulurken y^+ değeri önemlidir. Hesaplanan y^+ değeri, yüzey duvarından ilk ağ düğümüne olan boyutsuz mesafedir. Sınır tabaka bölgesinde, ağın boyutunun ne kadar ince olduğunu kontrol etmek için kullanılır. Ayrıca y^+ değeri, viskoz bölgeyi fark edebilecek düzeyde hesaplanmıştır. Ağ yapısı oluşturulan modellerin analizleri yapılırken 9144 m irtifa değeri seçilmiştir. Bu irtifa koşullarına sıcaklık 228.95 K, yoğunluk 0.458 kg/m^3 , basınç 30095 Pa, havanın dinamik viskozitesi 1.48×10^{-5} ve ses hızı 303.2 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu giriş koşulları ile kanal tipi sınır sabaka diverter uygulanan ve diverter uygulanmayan F-22 Raptor savaş uçağı katı modelleri $M=0,8$, $M=1,2$ ve $M=1,6$ olmak üzere 3 farklı hız değeri analizler için seçilmiştir. Analizlerin doğru ve hassas sonuçlar vermesi için bir türbülans modeli seçilmesi gerekmektedir. Analizler yapılırken hangi türbülans modelinin kullanılacağı büyük önem arz etmektedir. Ses üstü hızlarda yaygın olarak kullanılan k-epsilon (ϵ), k-omega (ω) ve SST-K Omega türbülans modelleri kullanılmaktadır. Türbülans modelleri, türbülans özelliklerinin farklı davranışını göstermiştir. Bununla birlikte, kesme gerilimi aktarımı SST k- ω modeli, deneysel ölçümlerle en iyi genel uyumu sergiler (Balabel; Hegab, 2011). Bu 3 tip türbülans modeli Ansys ortamında diverter içermeyen model için analiz edilip karşılaştırıldığında SST k- ω türbülans modelinde şok dalgaları yüzeye yakın ve uzak bölgelerde daha ise belirgin şekilde görülmektedir. Bu nedenle, daha hassas sonuçlar almak mümkün olabileceğinden SST k- ω türbülans modeli kullanılmasına karar verilmiştir. Analizler seçilen bu giriş koşulları ve parametreler ışığında Ansys-Fluent ortamında yapılmıştır.

Yapılan analizlerden sonra sonuçlar okunmuştur. Kanal tipi sınır tabaka diverter uygulanan ve diverter uygulanmayan F-22 savaş uçağının sürüklenme katsayısı değerine etkileri hesaplanmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Diverter yapısının kütle debisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunlara ek olarak diverter uygulanan ve diverter uygulanmayan uçağın basınç geri kazanımı değerleri karşılaştırılmıştır.

YÖNTEM

Korunum Denklemleri

Korunum denklemleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanılan ve akışkanın hareketini açıklayan temel matematiksel denklemlerdir. Akışkanın davranışı incelenirken kontrol hacmi yaklaşımı göz önüne alınır. Sistem özelliklerinin zaman içindeki değişimi, Reynolds transport teoremi ile kontrol hacmine geçirilerek ifade edilir. Kontrol hacmindeki herhangi bir özelliğin zamanla değişimi, kontrol hacminin yüzeyleri boyunca akıları da hesaba katarak ifade edilir. Bu sayede korunum yasaları, herhangi bir kontrol hacmi için yazılabilir hale gelir. Türbülantlı akış koşulları için korunum yasaları aşağıdaki gibi yazılabilir.

Kütlenin Korunumu

Sonsuz küçük bir hacim düşünüldüğünde, eleman hacmi içindeki kütle değişiminin zaman oranı, yüzey sınırından aktarım yoluyla eleman hacmine giren net kütle akışına eşittir. Bir kontrol hacmi düşünüldüğünde kütlenin korunumu Denklem 1'deki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\rho}' u_i'}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentumun Korunumu

Momentumun korunumu prensibi, bir sisteme uygulanan toplam kuvvetin sistem üzerindeki momentumu nasıl etkileyeceğini açıklar. Akışkan momentumunun ele alınması, uygun biçimde, element içindeki momentum değişiminin zaman oranının, etki alanına net momentum akışına eşit olduğunu belirtir. Momentum denklemi “(2)” deki gibi ifade edilir.

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial \overline{\rho u_i'' u_j''}}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial 2\mu \left(S_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} S_u \right)}{\partial x_j} \quad (2)$$

Enerjinin Korunumu

Enerjinin korunumu prensibi ise, bir sisteme giren veya çıkan enerjinin değişimini hesaba katarak, sistemin enerji dengesi hakkında bilgi verir. Enerjinin yaratılamayacağı veya yok edilemeyeceği, ancak sadece bir formdan diğerine dönüştürülebileceği temel bir fizik ilkesi olup Termodinamiğin birinci kanunudur. Enerji korunumu denklemi ‘(3)’ deki gibi ifade edilir.

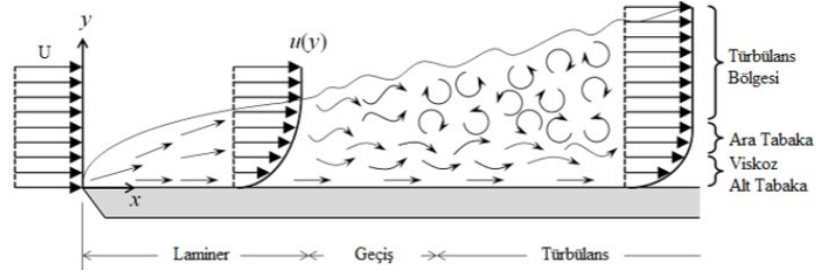
$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{E}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_j \bar{H}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{q}_j - \overline{\rho u_j'' h''} + \overline{\tau_{ij}'' u_i''} - \rho u_j'' \frac{1}{2} u_i'' u_i'' \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\bar{u}_i (\bar{\tau}_{ij} - \overline{\rho u_i'' u_j''}) \right] \quad (3)$$

Denklemlerde verilen semboller türbülanslı akış koşullarında olmak üzere $\bar{\rho}$ yoğunluğu, \bar{u}_i , \bar{u}_j Kartezyen koordinatlarda hız bileşenlerini, τ_{ij} viskoz gerilim tensörünü, S alanı, μ kinematik viskoziteyi \bar{H} entalpiyi, E toplam enerjiyi, δ_{ij} ise sınır tabaka kalınlığını temsil etmektedir.

Sınır Tabaka Teorisi

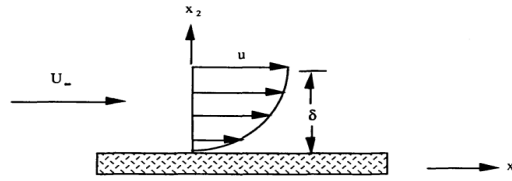
Savaş uçaklarında uçuş esnasında gelen hava, motorun hava alığına alınmadan önce gövdesi boyunca hareket etmektedir. Bu hareket esnasında viskoz sürtünmelerden ötürü sınır tabaka oluşumu meydana gelir. Meydana gelen bu sınır tabaka, basınç geri kazanımında düşüşe yol açar, motor hava alığına giren havanın kütleles debisinin azaltır. Sınır tabakanın bu olumsuz etkileri motorun performansında bir düşüş meydana getirmektedir. Bu olumsuzluğun önüne geçmek için oluşan sınır tabakanın hava alığının girişindeki etkisi azaltılması gerekir. Sınır tabakanın hesaplanması bu aşamada önem kazanmaktadır. Çünkü oluşan sınır tabakanın kalınlığı hesaplanarak hava alığından uzaklaştırılması için gerekli diverter tasarım hesaplamaları yapılabilir.

Sınır tabakası, bir katı yüzey ile akışkan arasındaki viskoz sürtünmenin etkisiyle akışın geciktirildiği, bir yüzeye bitişik ince, dönümlü akış bölgesidir. Kaymamazlık şartı sebebiyle yüzeyde akış hızı sıfırdır ve yüzeyden uzaklaştıkça normal hıza yaklaşır buda akış gradyanları oluşturur. Cismin boyutuna kıyasla sınır tabaka kalınlığı çok incedir. Ancak sınır tabakası, geometrik olarak akış alanının yalnızca küçük bir bölümünü kaplamasına rağmen, bunun sürtünme ve cisme ısı transferi üzerindeki etkisi çok fazladır (Anderson, 2017). Viskoz akışlarda, akışkanın hızı yüzeye yakın daha yavaş olduğundan yüzey ile akışkan arasında bir sınır tabakası oluşur. Viskoz akışta viskozite etkisi önemli olduğundan, dönme ve sürtünmelerden ötürü hız değişimleri ve kayma gerilmeleri meydana gelir (Svennson, 2008). Sınır tabaka karşılaştığı cismin temas ettiği ilk konumundan başlayıp ileriye doğru büyüyerek devam eder. Başlangıçta sınır tabaka yüzeye paralel ve düzgün bir akış karakteri taşır, ancak yüzey boyunca ilerledikçe geçiş bölgesini türbülanslı akışa, dolayısıyla sınır tabaka da türbülanslı sınır tabakaya dönüşür (Pehlivanoğlu, 2013). Sınır tabaka genel anlamıyla akış üzerinde yavaşlatıcı bir etkiye sahip olduğundan uçakların motor performansı üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 1’de levha üzerinde sınır tabakasının gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 1. Sınır Tabaka Gelişimi (Pehlivanoğlu, 2013)

Genel anlamıyla sürtünme gibi viskoz etkilerden kaynaklı olarak akış hızında değişiklikler meydana gelmektedir. Ayrıca, yüzey eğriliği, pürüzlüğü, sıcaklığı, akışın türbülans yoğunluğu gibi parametrelerde sınır tabaka özelliklerini etkilemektedir. Şekil 2’de da düz bir plaka üzerinde meydana gelen ortalama hız dağılımı görülmektedir.



Şekil 2. Sınır Tabaka Hız Profili (Anderson, 2017)

Akışkanın hızı yüzeyde kaymama koşulundan dolayı sıfırdır. Yüzeyden uzaklaştıkça akışkan hızının arttığı görülmektedir. Sınır tabaka hesaplamalarında çeşitli parametreler tanımlanmaktadır. Akış hızı, ana akım hızının %99’ una ulaştığı andaki kalınlığa sınır tabaka kalınlığı denir. Sınır tabaka kalınlığı Şekil 2’de δ ile gösterilmiştir. Yer değiştirme kalınlığı (δ^*), sınır tabakanın tam dışındaki bir akım çizgisinin sınır tabaka etkisiyle yer değiştirdiği mesafesidir. Momentum kalınlığı (θ), sınır tabaka etkisinden dolayı momentumda meydana gelen azalışla orantılı bir indekstir (Meroney, 2012). Yerel sürtünme katsayısı (C_f), kayma gerilmelerinin etkisini belirten boyutsuz bir parametredir. Hesaplamalarda kullanılan formüller integral formunda aşağıda ‘(4)’, ‘(5)’ ve ‘(6)’ eşitlikleri ile verilmiştir. Reynolds sayısı fiziksel olarak bir akışta atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranının bir ölçüsüdür. Şekil faktörü (H) ise yer değiştirme kalınlığının momentum kalınlığına oranı olarak tanımlanır ve laminar veya türbülanslı sınır tabaka özelliğini belirleyen bir parametredir. Bu parametrelerin büyüklükleri sınır tabaka hesaplamaları ve analizleri yapılırken önem arz etmektedir. Sınır tabakadaki hız gradyanı $u(y)$ ve yüzey üzerine gelen akışın potansiyel hızı u_∞ ise duvardaki potansiyel akış hızı (üniform hızı) tanımlamaktadır (Meroney, 2012).

$$\theta = \int_0^\infty \frac{u(y)}{u_\infty} \left[1 - \frac{u(y)}{u_\infty} \right] dy \quad (4)$$

$$\delta^* = \int_0^\infty \left[1 - \frac{u(y)}{u_\infty} \right] dy \quad (5)$$

$$H = \delta^* / \theta \quad (6)$$

Bu araştırma kapsamında 9144 metre irtifa ve yüksek hız değerlerindeki uçuşlar göz önüne

alındığında hava türbülanslı olmaktadır. Türbülanslı hava akış şartlarında düzensizlikler, belirsizlikler, rastgele enerji ve momentum dağılımı gibi çeşitli olumsuzluklar vardır. Bu olumsuzluklar türbülanslı akıştaki enerji kayıplarını arttırmaktadır, hız ve basınç gibi önemli parametrelerde değişiklik yaratmaktadır. Türbülanslı hava şartları incelendiğinde türbülans esansında meydana gelen artan momentum ve enerji alışverişi türbülans sınır tabakasının kalınlığının artmasına neden olur. Düzenli hava akımı olan laminer hava akım şartlarından türbülanslı hava şartlarına geçildiğinde sınır tabaka kalınlığı belirgin şekilde artar (Özgen, 2020). Türbülanslı akışın zamana bağlı ve üç boyutlu olduğu bilinen bir gerçektir. Günümüz şartlarında bile türbülanslı havayı tam anlamıyla analiz edilebilecek bir çözüm yönteminin geliştirildiği söylenemez. Türbülanslı hava koşulları için genellikle Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemleri olarak bilinen zaman-ortalama ya da ortalama değerler hesaplanarak analizler gerçekleştirilmektedir. Sınır tabakanın hesaplanması için denklemler mevcuttur. Sınır tabakası denklemleri, viskoz etkilerin son derece önemli olduğu sınır tabakası içinde uygulanan kısmi diferansiyel denklemlerdir. Sınır tabaka denklemleri, Navier-Stokes denklemleri baz alınarak, bazı viskoz terimlerin de ihmal edilmesiyle çözülebilir. Esas olarak türbülanslı hava akışı ile ilgilenildiğinden Navier Stokes denklemleri'nin çözümü zor olmaktadır. Türbülanslı hava şartlarındaki sınır tabaka hesaplamaları yapılırken türbülanslı bir akışın zaman ortalama akış özelliklerini açıklayan RANS kullanılır (Anderson, 2017). RANS denklemleri, havanın türbülanslı hareketlerinin matematiksel olarak modellenmesinde kullanılan ve ortalama hız, Reynolds gerilmeleri ve viskoz kuvvetler için terimler içeren denklemlerdir. RANS denklemlerinin kullanılmasıyla elde edilen kütle konumu, momentum korunumu ve enerji korunumu denklemleri, Denklem (1), (2) ve (3) olarak belirtilmiştir.

Diverter Konfigürasyonları

Diverter genellikle savaş uçaklarında kullanılan gövde ile hava alığını ayıran yapıdır. Uçuş esnasında türbülanslı hava etkilerinden dolayı uçak yüzeyi üzerinde sınır tabaka oluşumu meydana gelir. Meydana gelen sınır tabakayı hava alığına ulaşmadan tahliye etmek amacıyla diverter kullanılır. Günümüzde Şekil 3'de gösterilen dört farklı diverter konfigürasyonu mevcuttur. Bunlar; Kademeli Diverter, Sınır Tabaka Bypass Kanal tipi, Sınır Tabaka Emme Tipi ve Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter'dır. Kademeli Diverter sadece ses altı hızlarda uçan uçaklar için uygundur. Çünkü ses üstü hızlarda diverter yüzeyinden başlayan tahliye edilen orijinal sınır tabakadan daha büyük sınır tabakalar oluşturabilir. Sınır tabakayı yönlendirip, diverter içine almaktadır. Kademeli Diverter, hava alığına düzgün bir şekilde uzanan bir airfoil şekline sahip olmasından ötürü uçağın yapısal ağırlığını ciddi oranda arttırır. Sınır Tabaka Emme Tipi Diverter konfigürasyonunda, çalışma prensibi yönüyle Sınır Tabaka Bypass Kanal tipi 'ne benzerdir. Sınır tabakanın motor hava alığına girmeden hemen önce emme deliklerinden emdirilip arka taraftan tahliye edilmesi sağlanır. Sınır tabakalı havanın emdirilip motora düzgün bir hava geçişi amaçlanmaktadır. Bu diverter konfigürasyonunda emdirilen havadan kütle debisi artışı sağlanamaz. Bundan dolayı yararlı ve kullanışlı değildir. Sınır Tabaka Bypass Kanal tipi, gövdeden gelen sınır tabakayı direkt olarak içine alıp motorun arka kısmından tahliye eder. Sınır tabakasının yüzeyden ayrılmasına ve kanalın içine çekilmesine neden olan, uçağın yüzeyine yakın bir düşük basınç bölgesi oluşturarak çalışır. Ses altı ve ses üstü hızlarda kullanılabilir. Uçak ağırlığını ve sürtünmeyi arttırır. Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter ise diğer diverter tiplerine kıyasla daha hafif olmakla birlikte performansı da yüksektir. Ayırıcı bir plaka ile gövdeden belli bir mesafe ile uzağa konumlandırılır ve sınır tabaka akışının motor içerisine girmesini engeller. Sınır tabaka ayırıcı plaka ile gövde arasında sıkışır ve diverter rampası tarafından oluşturulan kanaldan dışarıya atılır. Bu dört diverter konfigürasyonu Şekil 3'de sırasıyla görülmektedir.



Şekil 3. Kademeli Diverter Bypass Tipi Diverter Emme Tipi Diverter Kanal Tipi Diverter

Yukarıda belirtilen diverter konfigürasyonları Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. Puanlar 1-5 arasında dikkate alınarak düşükten yükseğe olacak şekilde değerlendirilmiştir. Performans, ağırlık ve sürtünme parametrelerinin etkileri düşünüldüğünde verimli bir diverter konfigürasyonu seçilmesi için sırasıyla %50, %25 ve %25 olarak belirlenmiştir. Uçuş koşulları, seçilen referans uçak ve Tablo 1'de belirtilen parametreler göz önüne alınarak bu çalışmada Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter konfigürasyonunun analizlerde kullanılmasına karar verilmiştir.

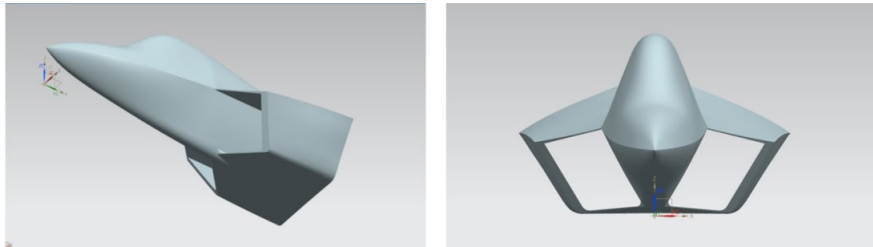
Tablo 1. Diverter Konfigürasyonları Karşılaştırması

Diverter Tipleri	Performans	Ağırlık	Sürtünme	Hız Aralığı	Kullanıldığı Uçaklar
Kademeli Tip	2	4	4	M<1	F-15
Sınır Tabaka Bypass Kanalı Tipi	3	4	3	M>1, M<1	F-35
Sınır Tabaka Emme Tipi	3	4	3	M>1, M<1	JAS 39
Kanal Tipi Sınır Tabaka Tipi	5	3	2	M>1, M<1	F-22 Raptor

BULGULAR

CAD Çizim Oluşturulması

F-22 Raptor savaş uçağı referans olarak seçilip, internetten alınan verilerle uçağın 3 boyutlu Computer Aided Design (CAD) çizimleri 1/10 oranında küçültülerek Siemens-NX programı aracılığıyla oluşturulmuştur. CAD çizimler yapılırken gövde yüzeyi başta olmak üzere yüzey eğriliklerine özen gösterilmiştir. CAD çizimler yapılırken ilk başta diverter bulundurmeyen bir model çizilerek analizi yapılmış ve sınır tabaka kalınlığı boyutu hesaplanmıştır. Sınır tabaka kalınlık değeri göz önüne alınarak Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter'ı bulunduran yeni CAD model çizilmiştir. Diverter konfigürasyonu bulunduran ve bulundurmeyen model çizimleri Şekil 4 ve Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4. F-22 Raptor savaş uçağı burun kısmı diverter uygulanmayan model



Şekil 5. F-22 Raptor savaş uçağı burun kısmı diverter uygulanan model

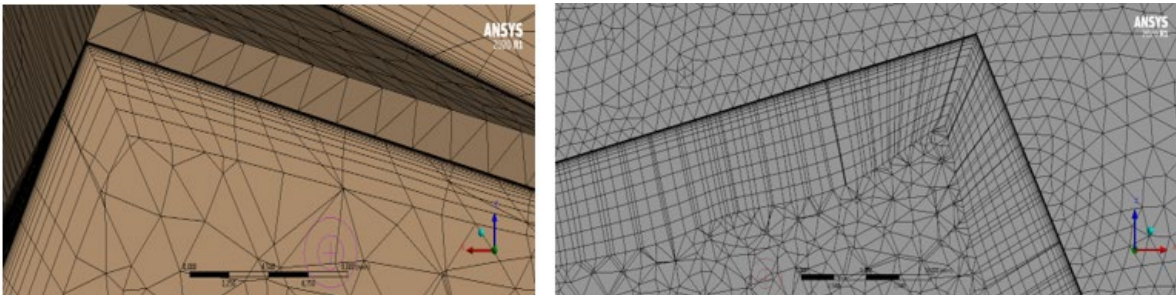
Ağ Yapısının Oluşturulması

Ağ oluşturma, HAD simülasyonları sürecindeki en önemli adımlardan biridir. Ağın kalitesi ve sürekliliği, simülasyonun doğruluğunu ve verimliliğini belirlemede çok önemli bir rol oynar. Bu bildiri kapsamında HAD analizleri için Ansys-Workbench programında bulunan Fluent yazılımı kullanılmıştır. Ağ yapısı oluşturulduğunda en içteki bölgede cismin hava ile temas ettiği bölgede ağ yapısı literatürde 'inflation' olarak bilinen 20 tane tabakaya bölünmüştür. İnflation tabakaları ile oluşan sınır tabaka etkisi daha doğru bir şekilde analiz edilebilmiştir. Ansys-Fluent programında diverter'dan motora hava geçişini en iyi şekilde analiz edebilmek için sınır tabakasının y^+ değeri 1' in altında tutulmuştur. Ayrıca viskoz bölgenin fark edilebilmesi için ağ hücreleri arasındaki geçiş uygun kalitede yapılmıştır. Ağ yapısının kalitesi sonuçların doğruluğu üzerinde etkili olduğundan ortogonal kalite değeri 0,12 ve hedef-çarpıklık kalite değeri 0,87 olacak şekilde ayarlanmıştır. Modelin hava alığı kısmı, burun ve gövde yüzeyi analiz sonuçlarının doğruluğu ve hassasiyeti açısından önem arz ettiğinden çözüm ağ yapılarının bu bölgelerde özellikle daha sık olmasına dikkat edilmiştir. Ağ yapısının etkisini görebilmek için aşağıda açıklanan ağdan bağımsızlık çalışmaları yapılmıştır. Akış hacmine çözümlenmeler için $M=1,6$ hızında toplam 5-7.5-10-12.5-15 milyon elementten oluşan ağ yapıları ile sonuçlar incelenmiştir. Karşılaştırma olarak sürüklenme katsayısı ve hava alığı hız değerleri ele alınarak Tablo 2' de gösterilmiştir. Tablo 3'deki verilere göre zaman ve doğruluk açısından karşılaştırma sonucunda basamak değerleri ve daha kaliteli ağ yapısına sahip olduğundan 12.5 milyon element sayılı ağ yapısı seçilmiştir. Şekil 6'da ağ yapısı görülmektedir.

Tablo 2. Ağ Yapısı Bağımsızlık Çalışması

Element Sayısı	CD (Sürüklenme katsayısı)	Hız(m/s)
5000000	0,0337556	412,658
7500000	0,0335463	410,9633
10000000	0,0333235	409,7943
12500000	0,033145358	409,76827
15000000	0,033142864	409.76652

Sürüklenme katsayısı uçaklarda hava direncinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyen bir katsayıdır. Sürüklenme kuvveti, uçağın hareket ettiği havanın direncine karşı mücadele etmesinden kaynaklanır. Uçaklarda sürüklenme katsayısının doğru hesaplanması ve minimize edilmesi önemlidir, çünkü sürüklenme katsayısı arttıkça uçağın daha fazla yakıt tüketmesine yol açar. Bu nedenle, sürüklenme katsayısının düşük olması, uçağın daha az yakıt kullanarak daha uzun mesafe almasına yardımcı olur. Farklı element sayılarında yapılan analizler sonucunda en düşük sürüklenme katsayısı kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 6. Ağ bağımsızlık çalışması 7500000 element (sol)- 12500000 element (sağ)

Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Sınır şartları, HAD analizinde sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, sınır şartlarının doğru bir şekilde belirlenmesi için analiz öncesinde akışkanın özellikleri ve analizin amaçları dikkate alınarak bir ön çalışma yapılmıştır. Analizi hangi şartlar arasında yapıldığı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Analizlerde uygulanan sınır koşulları

Mach Sayısı(M)	0,8	1,2	1,6
Yerel hız (m/s)	242,56	363,84	485,12
Ses Hızı (m/s)	303,2	303,2	303,2
İrtifa (m)	9144	9144	9144
Sıcaklık (K)	228,95	228,95	228,95
Atmosfer basıncı (kPa)	30,095	30,095	30,095
Dinamik viskozite(kg/ms)	1,487x10-5	1,487x10-5	1,487x10-5
Yoğunluk(kg/m3)	0,458	0,458	0,458
Türbülans Modeli	k- ω SST	k- ω SST	k- ω SST
y+ değeri	0,576	0,559	0,717
Dış Akış Alanı	Ön=6*L	Arka=10*L	Yan=5*L
İç Akış Alanı	Ön=1*L	Arka=2*L	Yan=simetri yüzeyi+1*L
Analiz sınır şartı	Giriş= uzak alan basıncı Çıkış=uzak alan basıncı	Gövde yüzeyleri ve dış akış yüzeyler=duvar	İç akış alanı=arayüz
Metot	Second order upwind	Second order upwind	Second order upwind
Genel	Basınca göre	Basınca göre	Basınca göre

Araştırma Çıktıları

Yapılan analiz sonucunda elde edilen sürüklenme katsayı değerleri aşağıdaki Tablo 4'de verilmiştir. Diverter kullanımı, sürüklenme katsayısı değerini azaltmıştır. Uçak yüzeyinden dolayı oluşan sınır tabakada basınç dalgalanmaları meydana gelir. Bu dalgalanmalar ekstra bir sürüklenme değeri oluşturacak şekilde yansır. Diverter kullanımı oluşacak basınç dalgalanmalarını azaltarak sürüklenme değerinde azalma sağlar.

Tablo 4. Sürüklenme katsayısı değerlerinin Mach sayısı ve diverter etkisi ile değişimi

Model	M=0,8	M=1,2	M=1,6
Diverter Uygulanmayan Model	0,026654	0,036715	0,033145
Diverter Uygulanan Model	0,018745	0,023609	0,021538

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D \quad (7)$$

Yapılan analiz sonucunda elde edilen tüm uçağın sürüklenme katsayı değerleri yukarıdaki Tablo 4'de verilmiştir. Denklem 7'de görüldüğü gibi sürüklenme katsayısı arttıkça sürüklenme kuvvetinde artış gözlenmektedir. Sürüklenme değeri doğrudan gerekli itki miktarını belirlediği için sürüklenme direnci kuvveti değerinin düşmesi gerekli olan itki miktarında düşüş sağlayacaktır. Böylelikle ekonomik açıdan verimli bir uçuş sağlanır. Aynı zamanda yüksek sürüklenme değerlerinde uçak parçaları üzerinde daha fazla kuvvet oluşturulacağı için uçağın bakım maliyetini ve sıklığını da artırır.

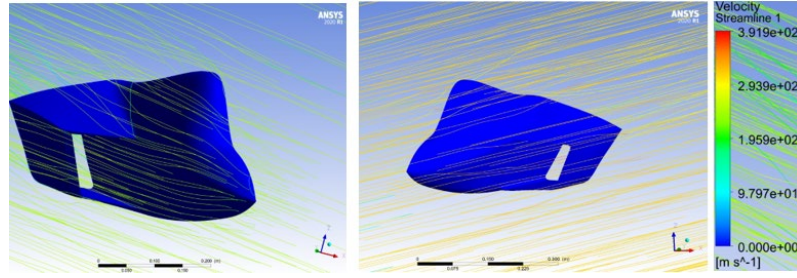
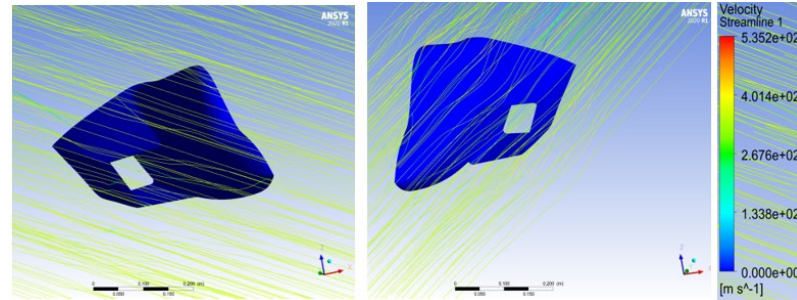
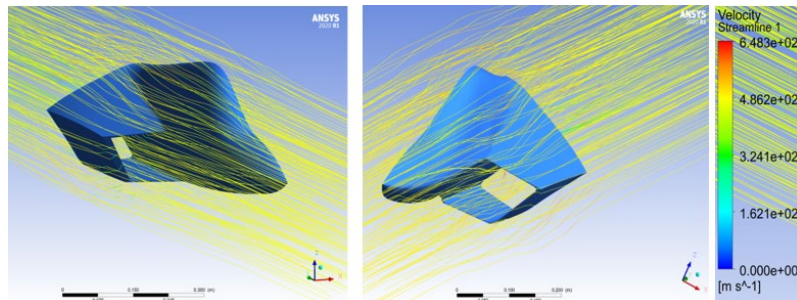
Tablo 5'de görüldüğü üzere; kütleli debi değerleri, diverter konfigürasyonu kullanımıyla artmıştır. M=0,8, M=1,2 ve M=1,6 hızlarında diverter kullanımı ile kütle debisi değerlerinde sırasıyla %9,2, %1,66 ve %2,83 artış sağlanmıştır. Özellikle sesaltı uçuş koşullarında diverter kullanımıyla daha yüksek bir artış meydana gelmektedir.

Tablo 5. Kütlesel debi (\dot{m} : kg/s) değerlerinin Mach sayısı ve diverter etkisi ile değişimi

Model	M=0,8	M=1,2	M=1,6
Diverter Uygulanmayan Model	1,2202	1,7771	2,4669
Diverter Uygulanan Model	1,3332	1,8066	2,5369
Artış oranı (%)	9,2	1,66	2,83

$$T = \dot{m} * (v_c - v_g) + (P_e - P_0) * A_e \quad (8)$$

Kütlesel debideki bu değişimin aerodinamikteki açıklaması olarak sınır tabaka oluşumu sonucunda momentum kalınlığı oluşarak aynı akış alanı için belirli miktarda momentum kaybına sebep olmaktadır. Diverter kullanılarak bu momentum kaybı azaltılmıştır. Denklem 8'de itki değerinin formülü verilmiştir. Bu denklemden yola çıkarak diverter kullanımı sonucunda kütlesel debideki artışın doğrudan itki değerini arttırdığı görülmektedir. Kütle debisindeki artış sayesinde daha fazla itki elde edilerek motorun daha verimli bir şekilde çalışması sağlanır. M=0,8, M=1,2 ve M=1,6 değerleri için yapılan analizler sonucunda uçak yüzeyine gelen akım çizgileri Şekil 7'de gösterilmiştir.

(a) $M=0,8$ (b) $M=1,2$ (c) $M=1,6$

Şekil 7. Farklı Mach sayılarında a) $M=0,8$ b) $M=1,2$ ve c) $M=1,6$ koşullarında diverter uygulanmayan (sol kolon görseller) ve diverter uygulanan (sağ kolon görseller) akım çizgileri değişiminin karşılaştırması

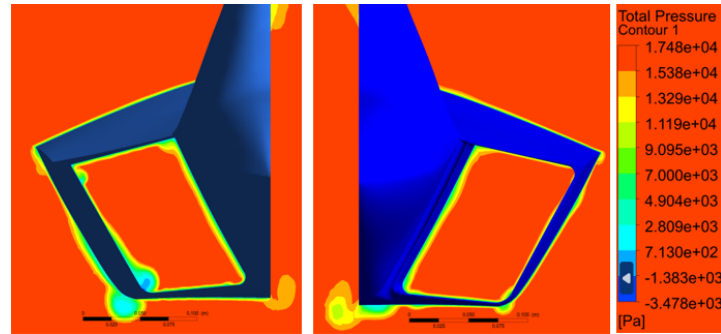
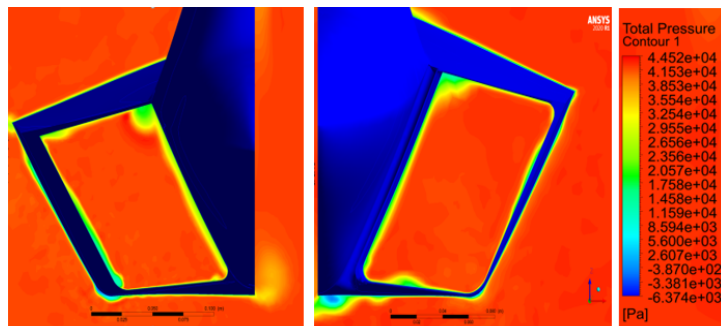
Hava alığı geometrisinin performansını gösteren en önemli parametre basınç geri kazanımı katsayısıdır. Çünkü bu parametre hava alığının verimini göstermektedir. Basınç geri kazanımı katsayısı, hava alığı serbest akışın sahip olduğu enerjinin ne kadarını motora iletebildiğini tanımlayan parametredir. Basınç geri kazanımı, hava alığı çıkışındaki toplam basıncın, akışın toplam basıncına oranı olup denklem '9' ile hesaplanır.

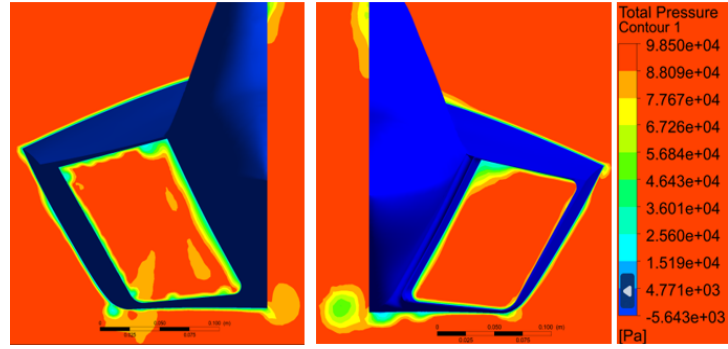
Tablo 6. Basınç Geri Kazanımı Değeri

Model	M=0,8	M=1,2	M=1,6
Diverter Uygulanmayan Model	0,9226	0,9169	0,8663
Diverter Uygulanan Model	0,9442	0,9338	0,9092

$$PRF = \frac{p_{t_2}}{p_{t_0}} \quad (9)$$

Tablo 6'da görüldüğü üzere diverter kullanımının, basınç geri kazanımını arttırdığı açıkça görülmektedir. Basınç geri kazanımının artması ile oluşturulabilecek itki miktarının da denklem '8'e bakıldığı zaman artacağı bellidir. Şekil 8'de görüldüğü gibi renk dağılımlarında diverter kullanıldığı zaman hava alığına daha az kalınlıkta sınır tabaka meydana geldiğinden böylelikle de azalan türbülans etkilerinden dolayı hava alığı içerisinde belirlenen alanda havanın basıncının arttığı gözlemlenmiştir. Üç hız değerinde de elde edilen basınç geri kazanım katsayıları karşılaştırıldığı zaman Kanal Tipi Sınır Tabaka Diverter uygulanan model analizler sonucunda daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Böylece daha yüksek basınç değerleri elde edilerek daha iyi bir yanma işlemine olanak sağlar. Bu durum aynı yakıt miktarında daha fazla itki elde edilmesi sonuçlanacaktır.

(a) $M=0,8$ (b) $M=1,2$

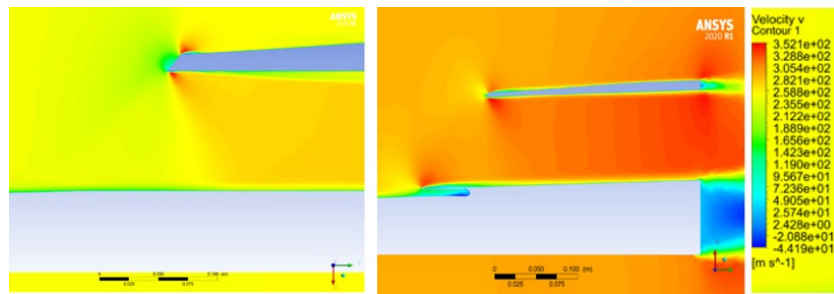
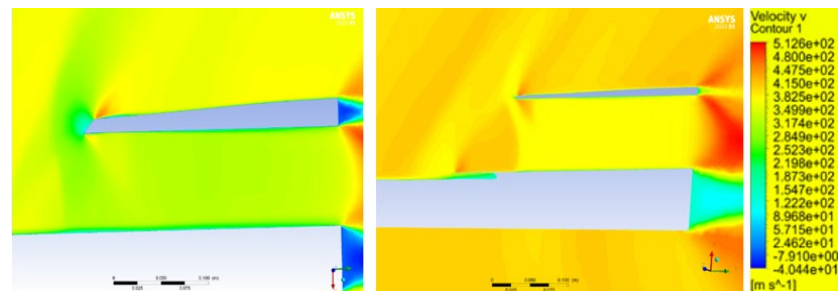

 (c) $M=1,6$

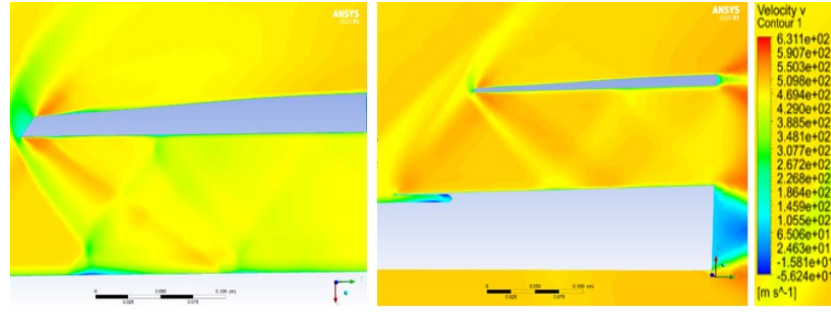
Şekil 8. Farklı Mach sayılarında a) $M=0,8$ b) $M=1,2$ ve c) $M=1,6$ koşullarında diverter uygulanmayan (sol kolon görseller) ve diverter uygulanan (sağ kolon görseller) basınç konturları değişiminin karşılaştırması

Sınır tabaka kalınlığı, hız vektörleri belirli noktada kesit olarak oluşturulmuş ve akış hızının %99'una ulaşıldığı yükseklik sınır tabaka kalınlığı olarak ölçülmüştür. Tablo 7'de görüldüğü gibi diverter kullanıldığı zaman sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmektedir. Çünkü uçak yüzeyinden oluşan sınır tabaka diverter kullanılarak hava alığına girmeden tahliye edilmiştir. Gövde arasına sıkıştırılıp diverter çıkışından atılmıştır bu sebeple sınır tabaka diverter olmayan yapıya göre daha düşük bir miktar olarak çıkmaktadır. Şekil 9b ve Şekil 9c'de görüldüğü üzere hava alığı boyunca sıralı eğik şok dalgaları oluşmuştur. Şok dalgaları toplam basınçta bir miktar azalmaya neden olsa da havanın hızını azalttığı için gereklidir. Çünkü hava alığının içinden yüksek hızda havayı geçirmek kompresöre zarar verdiğinden gaz türbinli motorlarda kompresöre gelen hava hızının düşürülmesi gerekir. Bu sebeple hava alığında sıralı eğik şok dalgaları oluşturulur. Şekil 8a, Şekil 8b ve Şekil 8c' de diverter kullanıldığı için sınır tabaka kalınlığının daha ince olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Sınır Tabaka Kalınlığı

Model	$M=0,8$	$M=1,2$	$M=1,6$
Diverter Uygulanmayan Model	8,3 mm	8,7 mm	9,2 mm
Diverter Uygulanan Model	5,9 mm	6,2 mm	6,4 mm


 (a) $M=0,8$

 (b) $M=1,2$

(c) $M=1,6$

Şekil 8. Farklı Mach sayılarında a) $M=0,8$, b) $M=1,2$ ve c) $M=1,6$ koşullarında diverter uygulanmayan (sol kolon görseller) ve diverter uygulanan (sağ kolon görseller) hız kontrurları konturları değişiminin karşılaştırması

TARTIŞMA / SONUÇ / ÖNERİ

Bu çalışmada F-22 Raptor savaş uçağı seçilip diverterin yerleştirileceği yükseklik hesaplanmıştır. CAD modeller oluşturularak diverterin, hava alığının performansına etkisi HAD analizi ile incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde diverter konfigürasyonunun önemi açıkça görülmektedir. Diverter yapısı sınır tabakayı içerisine alarak motora giren türbülanslı havanın motor içerisine girmeden tahliyesini sağlamıştır. Bunun sonucunda motora sınır tabaka boyutu minimize edilmiş akış alınmıştır. Motor içerisine giren düzgün akışın diverter uygulanan yapılarda basıncın artışı gözlenmiş olup kütle debisini artırdığı sonucuna varılmıştır. Artan kütle debisi motor içerisinde verimli yanma oluşturarak motor performansını arttırmaktadır. Bu sayede sadece konfigürasyon değişikliği ile verimli, ekonomik ve yüksek performans elde edilmiştir. Basınç geri kazanımı $M=0,8$ ve $M=1,2$ değerlerinde yaklaşık %2 civarında iken $M=1,6$ değerinde yaklaşık %5 değerinde artış göstermiştir. Bu değerler göz önüne alındığında en yüksek verimi $M=1,6$ değerinde yani süpersonik hızlarda göstermiştir. Bu nedenle diverter konfigürasyonu süpersonik hızlarda uçan uçaklarda kullanılması daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. İleride yapılacak HAD analizlerinin doğrulanmasına yönelik deneysel çalışmalar yapılması faydalı olabilir. Ayrıca, ülkemizde geliştirilmekte olan savaş uçağı Kaan ve insansız hava aracı Kızılelma'da farklı geometrik şekillerde diverter uygulamasına yönelik araştırma geliştirme çalışmaları yapılabilir. Bununla birlikte ileride diverter analizi farklı hücum açılarında veya süpersonik hızlarda çalışmalarda yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TUSAŞ Lift-Up kapsamında da yapılmıştır. Çalışma süresince bize yardımcı olan akademik danışmanımız Prof. Dr. Muammer Özgören hocamıza ve Lift-up proje sanayi danışmanımız Mustafa Demirsöz'e teşekkür ederiz.

REFERENCES

- Anderson, J. D, Jr. (2017), Fundamentals of Aerodynamics, Sixth Edition, New York, s. 997-1067.
- AGARD (1965), Aerodynamics of Power Plant Installation, AD0656569, 10-01, Proceedings of a Specialists' Meeting, AGARD Fluid Dynamics Panel, U.S.A.
- Arif I. ve Salamat S. (2018), Comparative Flow Field Analysis of Boundary Layer Diverter Intake and Diverterless Supersonic Intake Configuration. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 11, s. 1125-1131.
- Balabel, M. Hegab, M. Nasr, and Samy M. El-Behery. (2011), Assessment of turbulence modeling for gas flow in two-dimensional convergent-divergent rocket nozzle, Applied Mathematical Modelling, 35, no. 7 (2011): 3408-3422.
- Ekeremo J. (2018), Validation and Parametric Study of Supersonic Air Intake, Department of Mechanics

- and Maritime Sciences Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Goldsmith, E. L. and J. Seddon (1993), Practical İntake Aerodynamic Design, Amer Inst of Aeronautics.
- J.Seddon, E.Goldsmith (1999), İntake aerodynamics, Second Edition, P. 189-215.
- Meroney, R. N. (2012), Turbulent Boundary-Layer Growth Over a Longitudinally Curved Surface, AIAA Journal, 13(11). doi:10.2514/3.7014.
- Özgen S. (2020), Aeronautical Engineering Design II, Air Intakes & Nozzles, Middle East Technical Üniversity, Lecture Notes.
- Pehlivanoglu, D. D. (2013), Havacılık ve Uzay Bilimlerine Giriş. Hava Harp Okulu Yayınları 3, Baskı (s. 190-200), İstanbul.
- Raymer P. Daniel (1999) , Aircraft Design: A Conceptual Approach, Sixth Edition. Conceptual Research Corporation Playa.
- Svensson, M. (2008), A CFD Investigation of a Generic Bump and its Application to a Diverterless Supersonic Inlet, 20-21, Stockholm.

EXTENDED ABSTRACT

Purpose: It is aimed to remove the turbulent and boundary layer air from the air intake with the diverter.

Theory and Methods: By choosing a reference fighter aircraft model, the models with and without diverter were analyzed in the Ansys-Fluent


Results: By taking the boundary layer inside the diverter, the turbulent air entering the engine is evacuated without entering the engine. It was observed that the smooth flow entering the engine increased the pressure in the diverter-applied structures and it was concluded that it increased the mass flow rate. In addition, pressure recovery and mass flow rate increased with the use of diverter.

Conclusion: The use of a diverter provided an ideal means of proper air intake.

Design and Simulation of a Model Rocket Prototype

Oğuzhan AÇIKGÖZ¹ Mehmet DEMİR² Mehmet Emin ÇETİN³

¹ Necmettin Erbakan University, Department of Aeronautical Engineering, Konya, Türkiye,
acikgozoguzhan06@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0008-3912-0874>

² Necmettin Erbakan University, Department of Aeronautical Engineering, Konya, Türkiye,
mhmtkys38@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0005-3210-5864>

³ Necmettin Erbakan University, Department of Aeronautical Engineering, Konya, Türkiye,
mecetin@erbakan.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0002-6314-5261>

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 30.10.2023

Accepted: 28.11.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

Model rocket,
Nose profile,
Simulation.

In this study, a model rocket is designed for given mission parameters. Also, it is explained how a rocket prototype is produced and what parameters are used in the design phase. The design parameters may vary completely for different tasks and requirement configurations. The objective of this paper is to explain the design steps and performance analyses of a model rocket prototype. The rocket is designed from the beginning with the goal of high apogee and a higher payload. Design steps and simulations are demonstrated, and rockets are manufactured by evaluating the optimization. Nose cone, fin, and material strength calculations in rockets are performed in detail to prevent the drawbacks of instabilities. The manufacturing of the model rocket, its design, and the simulation of the rocket prototype are successfully done.

Model Roket Prototipinin Tasarımı ve Simülasyonu

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 30.10.2023

Kabul: 28.11.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Model roket,
Burun profili,
Simülasyon

Bu çalışmada verilen görev parametrelerine göre bir model roket tasarlanmıştır. Ayrıca bir roket prototipinin nasıl üretildiği ve tasarım aşamasında hangi parametrelerin kullanıldığı anlatılmıştır. Tasarım parametreleri farklı görevler ve gereksinim konfigürasyonları için tamamen farklılık gösterebilir. Bu makalenin amacı bir model roket prototipinin tasarım adımlarını ve performans analizlerini açıklamaktır. Roket, başlangıçtan itibaren yüksek apoje ve daha yüksek yük taşıma hedefiyle tasarlanmıştır. Tasarım adımları gösterilmiş, simülasyonlar yapılmıştır ve optimizasyon sonuçları değerlendirilerek roketler üretilmiştir. Roketlerde burun konisi, kanatçık ve malzeme mukavemeti hesaplamaları, belirsizliklerin olumsuz sonuçlarını önlemek amacıyla detaylı olarak yapılmıştır. Model roketin imalatı, tasarımı ve roket prototipinin simülasyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Atıf/Citation: Açıkgöz, O., Demir, M., & Çetin, M. E. (2023). Design and simulation of a model rocket prototype. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 78-85. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.3>



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

INTRODUCTION

People face countless challenges throughout their lives. These difficulties can sometimes bring people to the point of giving up. When people deal with difficulties stubbornly, life always has a good answer for them. This has always been the case throughout human history. This is how the developments in technology are progressing. In nature, all living things are born, crawl, walk, run, and reach a point. In accordance with the law of nature, everything must be in order. Never attempt to run without trying to walk. Nevertheless, do not be afraid to walk because of falling and stumbling. That's why we thought about doing such a project. The rocket prototype we're working on now can reach an altitude of 3000m. With such projects, larger rockets can be launched (Şimşek, 2023).

As we all know, our world is getting dirty every day because of harmful wastes such as fossil fuels and many other factors. One day, if we live on this planet, it can become uninhabitable. We may need to find a new world to live in. The first thing that other countries want to achieve in the space race is to be the first to discover a new World (Kulaksız & Hançer, 2022). We are involved in this space race as soon as possible, and we need to keep our eyes on the top (Ali, Dursun, Mustafa, Karabacak, & Özgören, 2023).

In these days, rockets have two different meanings (Zhu, Xiao, Zhang, & Cai, 2022). The first one is used in terms of motor type. The other one is the flying aircraft, which uses this motor. Generally, they are cylindrical-shaped. Rudely, they consist of the nose, body, fin, and motors. The rockets move by pushing the gas, which has very high velocity and pressure, from the nozzle. In other words, they work with Newton's third law, which is the action-reaction law. The pushed gas also applies to the rocket as a reaction force, and the rocket starts to move. The velocity of the rocket increases proportionally with the velocity and mass flow of the exhaust gas. The rockets include everything for moving inside them. As you know, oxygen and fuel are needed for burning. Both of these are carried inside the rocket propellant. Therefore, air-breathing engines cannot work in space, but rockets can work in space (Byers, Wright, Boley, & Byers, 2022). Usually, there are two types of rockets that are used. These are solid propellant rockets and liquid propellant rockets. Two types of rockets have advantages and disadvantages compared to each other.

Solid propellant rockets (Wei et al., 2022) are very suitable for small-diameter rockets. It is very easy to produce, transport, and store. They contain oxidizers, fuels, and lacers. The purpose of using a lacer is to keep oxidizer and fuel together. These kinds of rockets have a low cost, in contrast to their low efficiency. In addition, when the burning starts, we can't stop the reaction, namely, they are unrestrained. Because of this, they aren't used as the main rocket for space vehicles but are used as boosters beside the main rocket. However, they are often used at low altitudes and at short distances.

Liquid propellant rockets (Citarella, Ferraiuolo, Perrella, & Giannella, 2022) are more expensive and complex than solid fuel rockets. However, their efficiencies are greater than those of solid propellant rockets, and their burning velocity can be controlled. So in space, these types of rockets are generally used. Simply put, they contain fuel tanks, oxidizer tanks, pumps, combustors, and nozzles. Fuel tanks store fuel such as liquid hydrogen or kerosene. Oxidizer tanks store oxidizers such as liquid oxygen or nitrogen. They are pumped to the combustor and mixed there by pump. An ignition system starts the reaction. And nozzles increase the velocity of hot exhaust gas, push it out, and generate thrust.

As with every rocket, there are some missions (Meng et al., 2023) that we have designed, and we have some requirements for these missions. Firstly, the rocket we designed is designed for a specific task, and different designs can be made for other tasks and specific optimizations can be made. The mission of our rocketry consists of several basic sub-missions.

Firstly, the rocket is carefully placed on a 6 m-long 85° inclined launch platform. Then, after connecting the ignition units safely to the rocket, we move away from a safe distance to fire the rocket. After firing the rocket, the fuel in the engine burns in a short time, like 10-11 seconds, and as a result, it produces thrust. The rocket reaches a height of 3000 m. The expectation from the rocket is to remain stable

until it reaches the apogee point. As a result of the design of the rocket, it reached a speed of 0.8 Mach, and our flight is made within the subsonic speed limits without transonic speeds.

According to the results of information received from electronic devices such as the flight computer, barometer, and altimeter in the rocket, the first parachute system, called the drogue parachute system, was deployed in a few seconds after reaching the rocket apogee point. The parachute system is used to slow down the speed of the rocket and provide a safe landing on the ground. Also, a payload is deployed beside the drogue parachute system. Parachute and payload release are done by a linear actuator. One of the biggest benefits of using a linear actuator is the ability to distinguish between the upper body and the nose cone with 100 N force and 75 mm extension in a second. With the help of the first parachute, the speed of the rocket will be reduced by 20–40 m/s. At the same time, the two parachutes will not be opened, and too much drift will be prevented. When the rocket approaches the ground, the main parachute system will be activated with the help of the actuator, and the body will be divided into three parts. The main parachute system should be opened at least 400 meters and at most 600 meters away from the ground. The ground speed of the rocket must be between 5 m/s and 9 m/s. That two separate systems would be healthier since the opening of the parachute from a single place would oscillate after the separation of the rocket bodies, and this would trigger the entanglement of the parachute ropes. The most suitable place for the flight was selected as Salt Lake, Konya, Turkey. Because, in terms of security, military shooting tests will also be carried out in this area. The mission and several basic sub-missions of our rocketry are given here. In sub-sections of the article, manufacturing of components, simulation of the rocket, and conclusions will be given.

COMPONENTS

Model rockets have four main components, and they also have some sub-components in themselves. These main components form our outer geometry, and sub-components form our inner geometry.

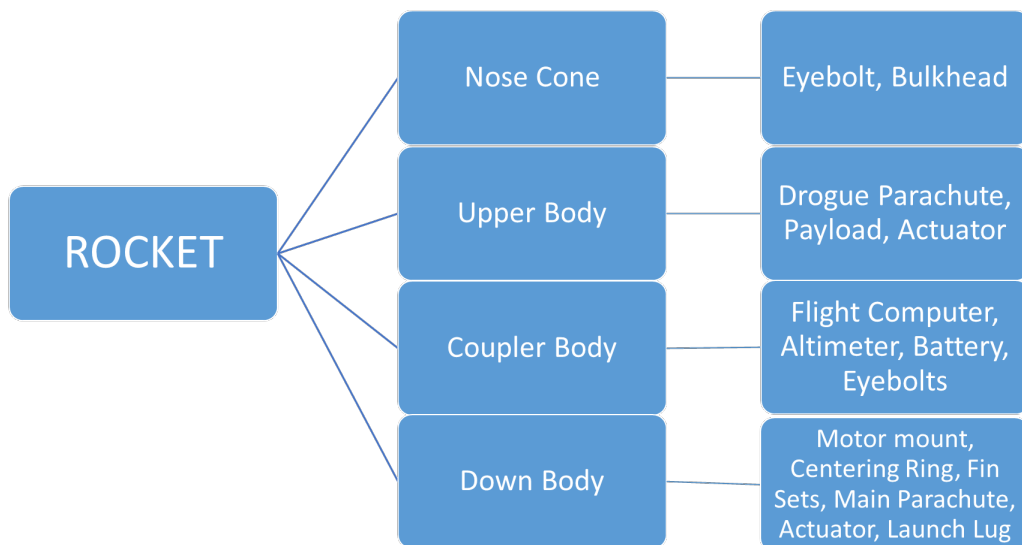


Figure 2. Rocket components

Nose cones are one of the most important components of rockets. They are located in the forward part of rockets. They are designed to decrease the drag coefficient of rockets and sometimes carry payloads. There are many types of nose cones, such as conic, spherically blunted conic, bi-conic, tangent ogive, or elliptical. All of them have advantages or disadvantages at different speeds or altitudes.

It is wanted that our rocket doesn't reach 0.8 mach. Because at this speed, the flow starts to be transonic, which is not good for stability. The turbulent flow can change all of the aerodynamic moments.

So the tangent of the given geometry have chosen. Because this shape cancels our rocket's reach for transonic flow. Also, manufacturing this shape is relatively easier than others. These equations are used (Carvalho & Claudino, 2019) for creating the nose cone shapes (Figure 3). The Solidworks program is used to generate the nose shape via the equations. After that, the part is saved in '.step' format, and nose cone shape is manufactured with a 3-D printer (Figure 4).

$$\rho = \frac{R^2 + L^2}{2 \cdot R} \tag{1}$$

$$y = \sqrt{\rho^2 - (L - x)^2} + R - \rho \tag{2}$$

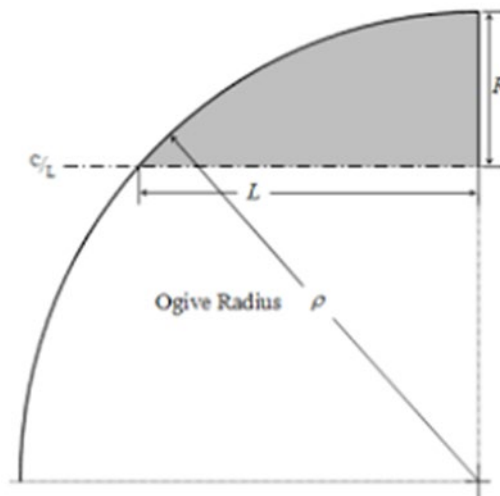


Figure 3. Tangent ogive definition(Carvalho & Claudino, 2019)



Figure 4. Nose cone

Eyebolt is used to fix the drogue parachute and nose cone with paracord. One of the eyebolts is fixed to the nose cone and the other one to the coupler body. The rocket is designed like this because the payload is placed between the nose cone and the coupler body. A bulkhead is used as a connector and support element. One of them is fixed to the nose cone, and the other is fixed to the coupler body. Plexy is used, and it was manufactured with a CNC milling machine. The upper body is manufactured with glass

fiber reinforced plastic composite, and the hand lay-up method was chosen. The reason for choosing fiber glass is that it is cheap and has high strength (Uyaner Mesut, 2019). Firstly, the fiberglass is laid out on the desk. The fiberglass is wetted with epoxy. A PVC tube was used as a mold. Polywax is applied to the tube, and the wet fiberglass is wrapped around the PVC tube. Lastly, for curing, one day is awaited.

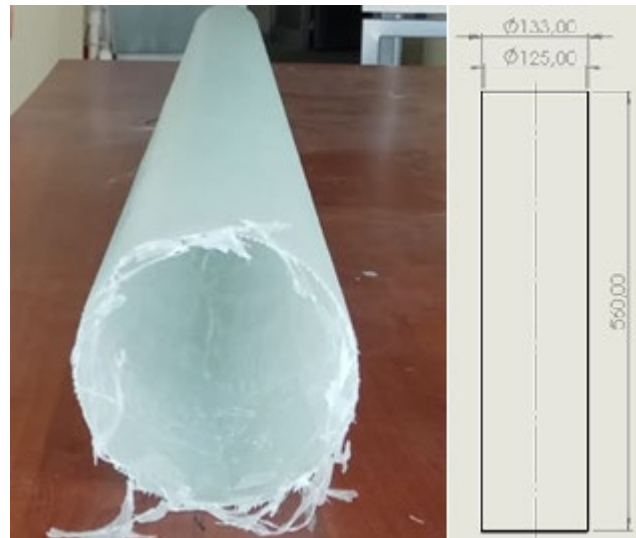


Figure 5. Fiberglass body

There are a lot of ways to design a recovery system, such as a carbon dioxide tube, a spring system, or servo motors. But more extensive research is done and linear actuators are found. They hadn't been used before the model rockets. But we thought it was the safest way to recover. There is no moving part, and this system is very stable and trustworthy. This actuator works at 12 or 24 volts. The linear actuator was chosen, which works at 12 volts. The actuator we chose has 100 N force, and it plays the stroke out in 1 second. Its stroke length is 75 mm. These values are suitable for our rockets.

The coupler body holds the electronic parts of the rocket. It locates between the upper body and the lower body. This component holds the upper body and lower body together. This part is generally manufactured with PVC or cardboard. These materials are suitable for signal transduction. Flight computers are the brain of the rocket. These computers decide when the recovery system will be activated. Also, these computers sent some data to us during the flight. There are some kinds of flight computers on the internet.

The down body includes fins, motor mount, centering ring, and main parachute. Fins are the most important part of a rocket for stability. A rocket that is not stable cannot fly on a linear path. For the manufacturing of fins, male and female molds are made. Fiberglass is chosen for fins. Because it is light, durable, and cheap. During burning, the temperatures of the combustor can reach 600°C–700°C, and this can damage the centering ring and rocket body. To avoid this situation, it was decided to use a motor mount. The best and cheapest material for a motor mount is cardboard. Those are good insulators, and those are very strong materials. Centering rings are used for centering the motor mount to the down body. Also, those fix the motor mount with a down body and use it as a support element. Plexy was used for the centering ring, and it is produced with a CNC milling machine. For safety, landing, and reusability, a main parachute is needed. It is activated with a linear actuator when the altitude is 450–500 meters. The determining factors for choosing a parachute are the mass of the rocket and safety landing velocity.

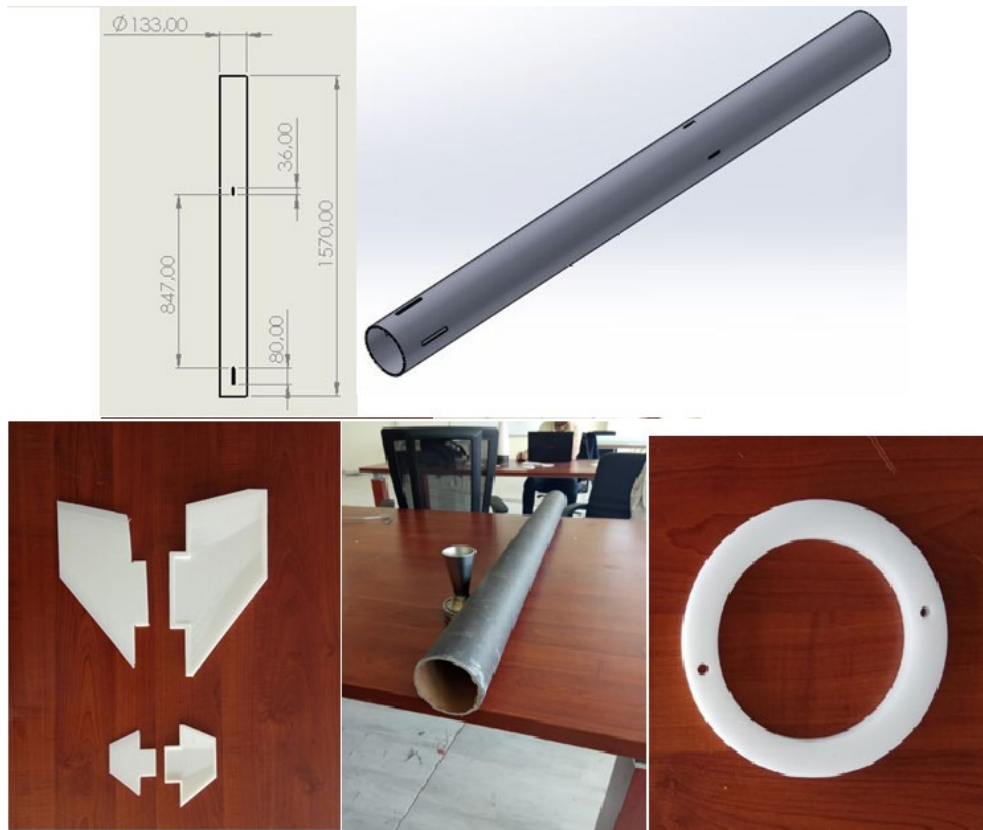


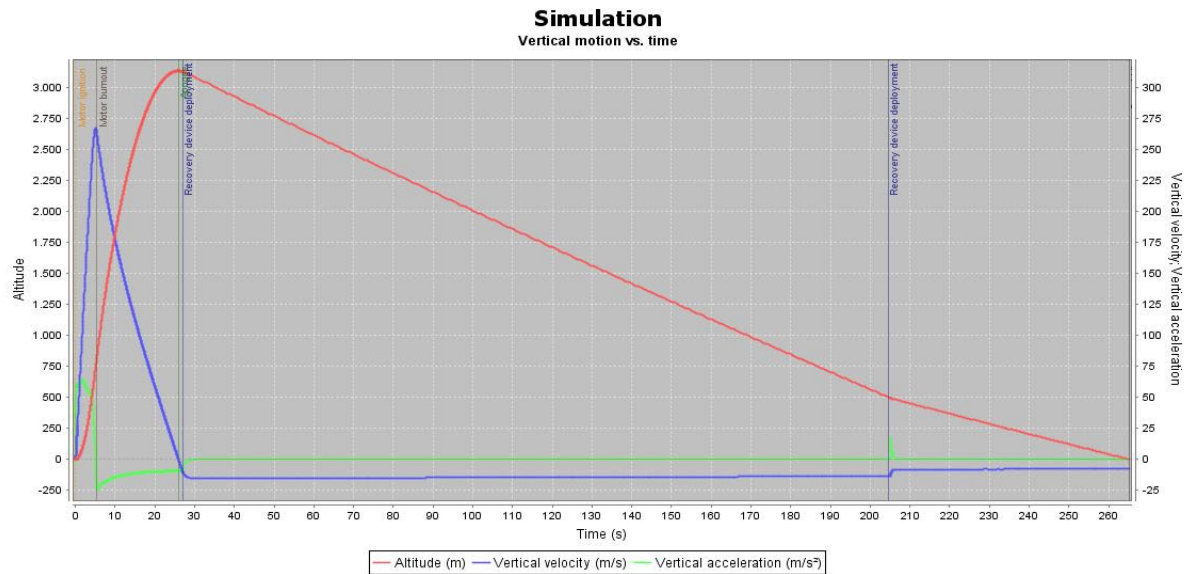
Figure 6. Upper body, fin molds, motor mount, centering ring

The desired nose cone shape (0.8 Mach) is the Von Karman series. But Tangent Ogive is used in our design. In theory, Von Karman seems to be more advantageous, but in practice, Tangent Ogive has a more useful design. Because when the Von Karman type is used, according to our analysis, our flight reaches transonic speeds. This is something not wanted.

The male and female molds were formed using the Solidworks program according to the fins to be produced. Generated molds were produced with a 3D printer. The gelcoat was applied between the molds so that the epoxy did not adhere. The female mold is applied with three layers of fiberglass and epoxy. Male mold is added to the female mold, and weight is applied over 24 hours. In this way, half of the wing is made, and the other half is produced. Two half-pieces of epoxy composites are produced, and the wing was produced in three dimensions (3D).

SIMULATION

After finishing the design and optimizations, the flight is simulated with the Open Rocket program. Based on the results of the simulation, the necessary data can be obtained before the flight to change the design parameters and proceed with the improvement. From this simulation, many important pieces of information can be gotten, such as altitude, maximum speed, stability margin, and flight time. First of all, start by filling in the input areas for the simulation. Salt Lake, Konya, Turkey is the launch site, and the coordinates of this area will be entered in the blanks. Then fill in some information about wind and launch rods, which have already been mentioned. After this part, we have to choose what the x and y coordinates are. It depends on our requirements. The Figure 7 indicates the result of the simulation. As we can see from the simulation result, it will complete the burning of the fuel inside the engine for 10-11 seconds. After a few seconds of reaching the maximum altitude, the drogue parachute system will have been deployed. Then the main parachute will have deployed, and the rocket will slow down and perform its safe landing.



CONCLUSION

In this study, the design, optimization, and production of a model rocket are done. The nose cone, upper body, lower body, and coupler body of the rocket are manufactured according to the desired mission requirements and objectives. In the design and optimization stages, it is aimed at applying the best aerodynamic performance to be used in rocketry. A tangent-ogive type nose cone design is selected and manufactured. Also, rocket components like eyebolts, bulkheads, drogue parachutes, payloads, actuators, flight computers, batteries, motor mounts, centering rings, and fin sets are successfully selected or manufactured using 3D printing and composite production techniques. As a result, this study can be a reference for designing and optimizing a model rocket prototype.

REFERENCES

- Ali, M., Dursun, A., Mustafa, K., Karabacak, M., & Özgören, M. (2023). Havadan Havaya Katı Yakıtlı Füze Tasarımı Air-to-Air Solid Propellant Missile Design. *Aerospace Research Letters (ASREL)*, 2, 27–47.
- Byers, M., Wright, E., Boley, A., & Byers, C. (2022). Unnecessary risks created by uncontrolled rocket reentries. *Nature Astronomy*, 6(9), 1093–1097. <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01718-8>
- Carvalho, L., & Claudino, G. (2019). CFD analysis of drag force for different nose cone design. *Presented at the IX Forum de Pesquisa e Inovacao Do Centro de Lancamento Da Barreira Do Inferno*, (October).
- Citarella, R., Ferraiuolo, M., Perrella, M., & Giannella, V. (2022). Thermostructural Numerical Analysis of the Thrust Chamber of a Liquid Propellant Rocket Engine. *Materials*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/ma15155427>
- F. Şimşek, S. B. B. (2023). *High Altitude Model Rocket Design: Flow Analysis and Optimization to Reach 3000 Meters Aim*. 6(2), 1589–1610.
- Kulaksız, N., & Hançer, M. (2022). Hava Aracı İçin Simulink-Flightgear Ortamlarında Uçuş Testlerinin Gerçeklenmesi Ve Aerodinamik Etkilerin Stabilité/Gövde Eksenlerinde Karşılaştırılması. *Aerospace Research Letters (ASREL)*, 69–83. <https://doi.org/10.56753/asrel.2022.2.1>
- Meng, X., Tian, H., Yu, R., Lu, Y., Gu, X., Tan, G., & Cai, G. (2023). Three-dimensional numerical simulation of hybrid rocket motor based on dynamic mesh technology. *Aerospace Science and Technology*, 141, 108573. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108573>
- Uyaner Mesut, A. Y. (2019). Nano Elyaf Takviyeli Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 10–19.

- Wei, Z. ting, Li, N., Nie, J. xin, Liang, J. hao, Guo, X. yong, Yan, S., ... Jiao, Q. jie. (2022). The properties of Sn–Zn–Al–La fusible alloy for mitigation devices of solid propellant rocket motors. *Defence Technology*, 18(9), 1688–1696. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.02.008>
- Zhu, H., Xiao, M., Zhang, J., & Cai, G. (2022). Uncertainty design and optimization of a hybrid rocket motor with mixed random-interval uncertainties. *Aerospace Science and Technology*, 128, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107791>

Türk Hava Yolları Sürdürülebilirlik Raporları Üzerine Bir Araştırma

Güzide KARAKUŞ¹

¹ Necmettin Erbakan University, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, Konya, Türkiye, gkarakus@erbakan.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0002-2897-7222>

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 27.09.2023
Kabul: 22.11.2023
Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilirlik,
Havacılık,
Havacılıkta
sürdürülebilirlik,
Sürdürülebilirlik raporu,
Türk Hava Yolları.

Dünyada giderek daha fazla önemsenen, Türkiye’de yeni yeni tartışılmaya başlanan bir konu olan sürdürülebilirlik, toplumun her kademesi tarafından anlaşılması gereken bir kavramdır. Çünkü sürdürülebilirlik toplumun belirli kişi veya bölümleri tarafından yürütülebilecek bir konu olmayıp hükümetler tarafından stratejik öncelikler arasında yer alması ve toplumlar için bir yaşam biçimi haline gelmesi gereken bir konudur. Bu çalışmada Türkiye’nin bayrak taşıyıcı havayolu işletmesi ve küresel bir marka olan Türk Hava Yolları (THY) Ortaklığı’nın 2014-2021 yılları arasında yayınlamış olduğu sürdürülebilirlik raporlarının içerik analizi yöntemi ile incelenmesi ve ilerleyen yıllar içerisinde raporlarda yer alan göstergelerin ve gerçekleştirilen uygulamaların analizi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan incelemelere göre sürdürülebilirlik raporları görsel açıdan başarılı olup, sektöre ve THY’ye ilişkin yoğun verilere sahiptir. Yıllar içerisinde hem genel çerçevede hem de içerikte farklılıklara gidilmiştir. Sunulan veriler yan yana getirilerek karşılaştırıldığında, eksiklikler ve tutarsızlıklar olduğu, izlenebilirliğin sağlanmadığı görülmektedir. Gelecek yıllarda sürdürülebilirlik raporlarının güvenilirlik, şeffaflık, izlenebilirlik ve denetlenebilirlik ilkeleri doğrultusunda geliştirilerek tüm paydaşlara örnek olacak şekilde yayınlanması önerilmektedir.

A Research on Turkish Airlines Sustainability Reports

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 27.09.2023
Accepted: 22.11.2023
Published: 31.12.2023

Keywords:

Sustainability,
Aviation,
Sustainability in aviation,
Sustainability Report,
Turkish Airlines.

Sustainability, which is an issue that is becoming increasingly important in the world and has just begun to be discussed in Turkey, is a concept that should be understood by all levels of society. Because sustainability is not an issue that can be carried out by certain individuals or segments of society, it is an issue that should be among the strategic priorities of governments and become a way of life for societies. In this study, it is aimed to examine the sustainability reports published by Turkish Airlines (THY), Turkey's flag carrier airline and a global brand, between 2014 and 2021, with the content analysis method, and to analyze the indicators included in the reports and the practices. According to the evaluations made within the scope of the study, sustainability reports are visually successful and contain extensive data about the sector and THY. Over the years, differences have been made both in the general framework and in the content. When the presented data are compared side by side, it is seen that there are deficiencies and inconsistencies and traceability cannot be ensured. It is recommended that sustainability reports be developed in line with the principles of reliability, transparency, traceability and auditability in the coming years and published as an example for all stakeholders.

Atıf/Citation: Karakuş, G. (2023). Türk Hava Yolları sürdürülebilirlik raporları üzerine bir araştırma. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 86-113. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.4>



“This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)”

GİRİŞ

En genel anlamıyla “devamlılık” olarak tanımlanabilecek sürdürülebilirlik, Kımılı (2006: 12) tarafından “kaynağın tüketilmeyecek veya kaynağa sürekli zarar verilmeyecek şekilde değerlendirilmesi veya kullanılması” ve Şen, Kaya & Alpaslan (2018: 5) tarafından “bir şeyin kendisini saklayabilme, koruyabilme, varoluşunu devam ettirebilme becerisi ve yeteneği” olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik; çevre, toplum ve ekonomi (Akgül, 2010: 151) kavramlarından yola çıkılarak ekonomik, sosyal ve çevresel alt boyutlarından oluşmaktadır. Sürdürülebilirliğin ana amacı günümüz kaynaklarının geleceğe taşınması olup bu kaynakların doğru ve yerinde kullanımı gelecek nesillerin daha rahat ve güzel bir yaşam sürebilmesini sağlayacaktır.

Sürdürülebilirlik kavramının gerekliliklerinin kamu ve özel sektör kurumları tarafından anlaşılması ve hayata geçirilmesi önemli olup bu durum beraberinde kurumsal sürdürülebilirlik kavramını getirmektedir. İşletmeler faaliyetlerini yürütürken yarattıkları ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri değerlendirmeli ve iyileştirmeler gerçekleştirmelidir. Ancak bu çalışmaların belirli bir standartta gerçekleştirilmesi gerekmektedir ki bu noktada sürdürülebilirlik raporları önemli bir araçtır. Sürdürülebilirlik raporları, şirketlerin finansal olmayan performanslarını ve etkilerini (olumlu veya olumsuz) şeffaf ve izlenebilir bir şekilde paydaşlarına iletebilecekleri (Zieba & Johansson, 2022: 1) ve kendileri için de strateji geliştirmede kullanabilecekleri önemli bir kaynaktır.

Havacılık sektörü tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük gelişim gösterirken sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri de tartışılmaktadır. Bu tartışmalar uçak imalatçılarından havayolu işletmelerine kadar sektörün tüm paydaşlarını ilgilendirmekte olup havacılık sektörünün sürdürülebilirliği açısından da kritik önemdedir. Sektörün küresel büyümeye ve çevresel etkiye katkısının büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilirlik tartışmasının ön saflarında yer alması olağan bir durumdur (Hooper & Greenall, 2005: 156). Endüstrinin çevresel olarak sürdürülemez doğası ve sürdürülebilirlik raporlaması ile ilgili sorunlar göz önüne alındığında, havayolu işletmelerinin sürdürülebilirlik raporlarını nasıl uyguladığını anlamak ve iyileştirmeye ihtiyaç duyulan alanları belirlemek önemlidir. Ancak küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunan havacılık sektöründe sürdürülebilirlik raporlaması kapsamında akademik yazında geç ve yetersiz kalmıştır (Zieba & Johansson, 2022: 1).

Konunun önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada Türkiye’nin bayrak taşıyıcı hava yolu işletmesi olan Türk Hava Yolları (THY)’nin sürdürülebilirlik çalışmalarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kurumların sürdürülebilirlik çalışmalarının ana göstergelerinden biri olan sürdürülebilirlik raporlarının THY nezdinde içerik analizi yöntemi ile incelenmesi ve ilerleyen yıllar içerisinde raporlarda yer alan göstergelerin ve gerçekleştirilen uygulamaların analizi hedeflenmiştir. Böylelikle havayolu endüstrisi odağında sürdürülebilirlik raporları kapsamında literatüre ve uygulamaya katkı sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmada giriş bölümünden sonra sürdürülebilirlik, sürdürülebilirlik raporlaması ve havacılıkta sürdürülebilirlik kavramları incelenmiştir. Sonraki bölümde literatürde yer alan benzer çalışmalara değinilmiş, arkasından çalışmanın yöntemi aktarılmıştır. Uygulama bölümünde 2014-2021 yılları arasında yayınlanan sürdürülebilirlik raporları bölümler halinde incelenmiş ve veriler tablolara aktararak analizler gerçekleştirilmiştir. Son olarak sonuç bölümünde elde edilen bulgular doğrultusunda öneriler geliştirilmiştir.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik, insan ve çevre sağlığının korunarak mevcut kaynakların gelecek nesillere aktarılmasını hedefleyen (Şevkay & Bayburtlu, 2020: 150-179), odağında insan faktörünün yer aldığı bir kavramdır. Bu nedenle insanların sürdürülebilirlik farkındalığının geliştirilmesi zorunlu olup eğitimin her kademesinde konunun ders içeriklerine dahil edilmesi önemli bir gerekliliktir (Akçay & Şengül, 2023: 140). Bireysel farkındalık ve çaba, sürdürülebilirlik için etkili olmak ile birlikte kurumların etkisinin yanında

düşük orandadır. Küresel ölçekte makro olarak sürdürülebilir kalkınma kapsamında yer alan ekonomik, çevresel ve sosyal öğelerin mikro anlamda işletmelerde uygulanması literatürde kurumsal sürdürülebilirlik olarak adlandırılmakta (Güney & Dinler, 2021: 101) olup, kurumsal sürdürülebilirliği doğru anlayabilmek için öncelikle bu öğeleri doğru tanımlamak önemlidir.

Sürdürülebilirlik kavramı ekonomik açıdan ele alındığında üretim sürecine zarar veren etkenleri ortadan kaldıran ya da engelleyen, mal/hizmet üretiminde sürekliliği ön planda tutan ve borçların yönetilebilir seviyede kalmasını sağlayan yaklaşımdır. Bu sebeple **ekonomik sürdürülebilirlik** geri dönüştürülebilir ürünlerin sosyal sorumluluk yaklaşımı ile geliştirilmiş, çevreye zarar vermeden üretildiği (Özçağ ve Hotunluoğlu, 2015) sistemleri tanımlamaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik, yenilenebilir kaynak kullanımı (Üçgül, 2015: 1), çevre bilimleri ve teknolojileri başlıkları (Alagöz, 2004: 15) ile birlikte işletmelerin iç ve dış etkilerini anlamak, çözmek (Gedik, 2020: 210) ve etkin para politikası uygulamalarını içermektedir (Alagöz, 2004: 16).

Sürdürülebilirliğin **sosyal boyutu** uzun yıllar boyunca göz ardı edilmiş olup, 1980'lerin ilk yarısı boyunca ekonomik ve çevresel boyutlar daha ön planda tutulmuştur. Ancak son yıllarda sürdürülebilirliğin sosyal boyutu da oldukça önem kazanmaya başlamıştır. Birleşmiş Milletlerin 1987'de yayımladığı Ortak Geleceğimiz adlı raporda kalkınma ile doğrudan ilişkili olan yoksulluk sorununa dikkat çekilmiştir. Rapora göre Dünya üzerinde yoksulluk ve eşitsizlik sürdüğü sürece ekolojik kriz eğilimi de hep var olacaktır (Köşker & Güner, 2020: 93). Sürdürülebilirliğin sosyal yönü, toplumun iyi olma hali ile ilişkili olup bu durum refah olarak tanımlanmaktadır (Özdeş, 2019: 37). Sosyal açıdan sürdürülebilirlik, toplumsal eşitlik, sağlık, eğitim ve siyasi hesap verebilirlik gibi alanlarda sosyal hizmetlerin yeterli şekilde sağlanması iken (Gedik, 2020:197) iş yaşamı bazlı düşünüldüğünde çalışan memnuniyeti (Gökbulut, 2019: 40, Akandere, 2020: 66), iş sağlığı ve güvenliği (Akandere, 2020: 66), toplumsal refah (Gökbulut, 2019: 40-41) gibi kriterleri kapsamaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik düşüncesi, bugünkü nesil olarak elimizde bulunan ve kullanmakta olduğumuz çevreyi koruyarak gelecek nesillere aktarmaktır (Akgül, 2010: 156). Çevresel sürdürülebilirliğin olumlu sonuçlar verebilmesi için doğal kaynak tüketiminde minimum seviyeye inilmesi ve yenilenebilir enerjilerin kullanılması gerekmektedir (Duran, 2018: 17). Çevresel sürdürülebilirlik, çevre dostu yapı tasarımı (Dikmen & Savcı, 2015: 215), suyun verimli kullanımı (Aksungur & Firidin, 2008: 9), atık ve materyal yönetimi (Palabıyık, 2001: 117), çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımı (Gökdalay & Evren, 2011: 42), sera gazı emisyonunun azaltılması (Bali & Yaylı, 2019: 306) vb. konularını kapsamaktadır.

Günümüzde değişen ve rekabetçi küresel ekonomide hayatta kalmaya çalışan işletmelerin toplumun beklentilerini göz ardı ederek varlığını sürdürmesi mümkün değildir (Battal, 2018: 394). İşletmeler sürdürülebilirliği yalnızca gezegen için değil, kendi performanslarını değerlendirmek ve varlıklarını sürdürebilmek için de kilit bir strateji olarak görmeye başlamışlardır (Sloan, Klingenberg & Rider, 2013: 19). Tüm çevresel, sosyal, etik ve ekonomik yönleriyle sürdürülebilirliğe artan ilgi işletmeleri bu kapsamda raporlar hazırlamaya yönlendirmiştir (Torelli, Balluchi & Furlotti, 2020: 470).

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK RAPORLAMASI

Sürdürülebilirlik artık yeni bin yılın stratejik zorunluluğu gibi görülmekte ve 20. yüzyılın sonlarındaki mükemmellik, kalite ve değişim mühendisliği hareketlerine benzer bir ivme kazanmaktadır. Kamunun çıkarına ek olarak, mevzuattaki değişiklikler, topluluklar ve sivil toplum kuruluşları (STK'lar) dahil olmak üzere paydaşlardan gelen baskılar ve itibarlarına yönelik endişeler, en isteksiz yöneticileri bile sürdürülebilirlik çalışmalarına yönlendirmektedir. Başta geçici bir moda kavram olduğu düşünülen sürdürülebilirliğin kalıcı olduğu artık anlaşılmış durumdadır (Galpin & Whittington, 2012: 40). İşletme liderlerinin sürdürülebilirlik arayışlarındaki rolü, yönettikleri işletmelerin ekolojik olarak sürdürülebilir kalkınma ilkelerine uygun olarak faaliyet göstermelerini sağlamak ve böylece çevreye, kuşak eşitliğine ve gezegenin gelecekteki sürdürülebilirliğine karşı yükümlülüklerini yerine getirmektir (Kerr, 2006: 32).

İşletme yöneticilerinin göz önünde bulundurması gereken diğer önemli bir husus da; çevresel, ekonomik ve sosyal konuların yönetiminin, orta ve uzun vadede bir işletmenin hayatta kalmasını sağlamak ve paydaş değeri yaratma yeteneğini geliştirmek açısından kilit bir öneme sahip olduğudur (Chousa ve Castro 2006, 83).

İşletmeler marka ve imaj stratejisi, maliyet düşürme veya rakiplerinden farklılaşma gibi farklı nedenler ile sürdürülebilirlik ile ilgili çalışmalara yönelmektedirler (Galpin & Whittington, 2012: 40). Bunun yanında toplumlarda sürdürülebilirlik farkındalığının artması işletmelerin elde ettikleri kazançlar ile birlikte bu kazançların nasıl elde edildiğini de önemli hale getirmiştir. Bu nedenle işletmeler çevre ve toplumda ekonomik, sosyal ve çevresel bağlamda yarattıkları olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirebilmek ve bu değerlendirmeyi ilgili paydaşlar ile paylaşabilmek için sürdürülebilirlik raporları hazırlamaktadır (Yılmaz & Bayrak Oğuz, 2020: 1382).

Kurumsal çevre performansının raporlanması son on yıldan bu yana çarpıcı bir şekilde gelişme göstermiş (Hooper & Greenall, 2005: 151) ve yıllar içerisinde yerini sürdürülebilirlik raporlamasına bırakmıştır. Sürdürülebilirlik raporları, işletmelerin faaliyetlerinin çevreye ve insan yaşamına zarar vermeyen ve enerji kaynaklarını dengeli biçimde kullanacak bir çalışma sistemine sahip olduğunu beyan eden raporlardır (www.semrio.com, E.T.: 17.07.2023). İşletmelerin finansal ve finansal olmayan verilerinin yer aldığı sürdürülebilirlik raporları, kurumsal şeffaflık açısından tüm paydaşları için büyük öneme sahiptir (Güney & Dinler, 2021: 101). Paydaşların gözünde bilgilerin meşruiyetini artırmak amacıyla birçok rapora üçüncü taraf doğrulama beyanlarının dahil edilmesiyle daha objektif ve sorumlu raporlama yapılması sağlanmaktadır (Hooper & Greenall, 2005: 152).

Paydaşların beklentisi raporun kuruluşun faaliyetlerine uygun içerikte olması ve tutarlıdır. Raporlamada; paydaş kapsayıcılığı (paydaşların belirlenmesi ve beklentilerine yanıt), sürdürülebilirlik bağlamı (bilgilerin işletme bağlamında sunumu), önemlilik (kuruluşun etkileri ve paydaş kararları ile ilgili olarak raporda ele alınan konuların uygunluğu) ve eksiksizlik (kuruluşun performansını değerlendirmek için yeterli bilginin sağlanması) önemli ilkeler arasındadır. Rapor kalitesi, bilgilerin sunumuna ve şeffaflığına odaklanırken, işletmenin olumlu ve olumsuz yönleri dengeli biçimde verilmelidir (Boiral, Heras-Saizarbitoria & Brotherton, 2019: 704).

Kurumsal sürdürülebilirlik kavramının yaygınlaşması ile birlikte çoğu ülkede gönüllülük esasıyla hazırlanan sürdürülebilirlik raporlarının sayısında zaman içerisinde artış görülmektedir (Güney & Dinler, 2021: 115). Çünkü işletmelerin anlaşılır, şeffaf ve hesap verebilir olmaları, çalışanlar, müşteriler, diğer işletmeler, yatırımcılar ve sivil toplum kuruluşları gibi tüm paydaşların beklentileridir (Yılmaz & Bayrak Oğuz, 2020: 1400). Farklı raporlama kılavuzları var olmak ile birlikte raporların büyük çoğunluğunun, Birleşmiş Milletler ile işbirliği içinde çalışan bağımsız bir kuruluş olan Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative/GRI) tarafından geliştirilen raporlama kriterlerine değişen ölçülerde uyacak şekilde hazırlandığı görülmektedir (Ballou, Heitger & Landes, 2006: 65).

HAVACILIKTA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Havacılık, dünyanın en hızlı büyüyen ve yenilikçi sektörlerinden biri olup küresel ekonominin önemli bir parçası konumundadır. Küresel ekonomik faaliyetlerde artış ve gelişen teknoloji ile birlikte sektöre güven ve yönelim sürekli artmaktadır (Polat, Aydın & Aktaş, 2022: 62, Kakşa & Soycan, 2022: 113). Sektör, artan müşteri talebi ile birlikte ekonomik açıdan ilerlerken, sosyal gelişim ve çevresel sorumluluk konularında da dengeleri korumayı amaçlamaktadır (<https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/hadt11.pdf>, E.T.: 19.07.2023). Faaliyetlerinin %10'u havada, %90'ı yerde yürütülen havacılık sektöründe sürdürülebilirliği sağlamak için tüm alt sistemlerde de sürdürülebilirliğin doğru anlaşılması ve uygulanması önemli bir gerekliliktir.

Ne yazık ki, büyük altyapı gereksinimleri olan ve temel olarak fosil yakıtlara bağımlı olan havacılık

sektöründeki bu büyüme bölgesel ve küresel kirliliğe yol açmaktadır. Sektörün başta gürültü, hava, su kirliliği ve atıklar ile doğal yaşama olan etkilerini kontrol altına alması ve azaltıcı önlemler geliştirmesi çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanması açısından önemlidir (Oto, 2011: 18: 1209; Hooper & Greenall, 2005: 155). Havalimanı projelerinin tasarlanması ve yapımı esnasında hayata geçirilecek sürdürülebilirlik uygulamaları tüm sektörün ekonomik, çevresel, sosyal sürdürülebilirliği için artı değer sağlar niteliktedir (Dalkıran, 201: 88-89).

Havalimanlarında sürdürülebilirliğin üç boyutu kapsamında çeşitli faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Yaratılan istihdam ile birlikte faaliyet gösterilen bölgedeki ekonominin canlanması, daha konforlu bir ulaşım seçeneği sunması, toplumsal bilinçlenme ve refahın iyileşmesi gibi önemli ve olumlu etkiler ile havaalanları ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlar niteliktedir (Oto, 2011: 194). Bunun yanında sektörün yarattığı olumsuz çevresel etkileri azaltmak doğrultusunda da sektörün tüm paydaşları iyileştirme projeleri hayata geçirmektedir. Son kırk yıl içerisinde yakıt kullanımında %70 oranında bir düşüş sağlanmış, sektör e-dönüşümün öncüsü olmuş, biletlerde ve uçak bakım dokümanlarında kâğıt israfı azaltılmıştır. Ancak tüm uğraşlara rağmen fosil yakıt kullanımı ve CO² emisyonlarının azaltımı gerçekleştirilememiş (Torun & Küçükyılmaz, 2009: 49) olup sektörde çevreye duyarlı hizmet üretimi kapsamında çalışmalara devam edilmelidir.

LİTERATÜR

İşletmelerin toplumun önemli bir parçası olduğu ve toplum üzerindeki etkilerine dair farkındalık arttıkça, iş dünyasında kurumsal sosyal sorumluluk anlayışı ivme kazanmaktadır (Chen & Lin, 2009: 624). İşletmeler sürdürülebilirlik faaliyetlerini izlenebilir kılmak için raporlama çalışmaları yaparken bu raporların uygulama şekilleri de farklılık göstermektedir. Uygulamadaki gelişmelere paralel olarak akademide de sürdürülebilirlik ve sürdürülebilirlik raporları kapsamında araştırmalar tüm endüstrilerde artarak devam etmektedir. Zieba & Johansson (2022: 1), havayolu endüstrisinde sürdürülebilirlik raporlamasına ilişkin bilimsel araştırmaların mevcut durumunu araştırdığı çalışmasının sonuç bölümünde, havacılık sektöründe sınırlı sayıda çalışmanın yapıldığını belirtmişlerdir. Yazarlar sektörde sürdürülebilirliğin nasıl tanımlanıp ölçüleceğine ilişkin ortak bir politika olmaması nedeniyle sürdürülebilirlik raporlarında da tutarlılık olmadığını belirtmiş ve çalışmaların artırılması önerisinde bulunmuşlardır.

Kuzey & Uyar (2017) BIST (Borsa İstanbul) 100’de yer alan işletmelerin 2011-2013 yıllarına ait sürdürülebilirlik raporlarını inceledikleri çalışmada işletmelerde GRI (Global Reporting Initiative/Küresel Raporlama Girişimi) rehberi konusunda farkındalığın yüksek olduğunu, imalat işletmelerinde raporlamanın daha yoğun olduğunu ancak raporlamalarda dış güvencenin (bağımsız 3. taraf denetim) düşük olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada “sürdürülebilirlik raporlamasının işletmenin değerini arttırdığı” en önemli bulgu olarak sunulmuştur. Ertan (2018), Türkiye’de sürdürülebilirlik raporlarının mevcut durumunu analiz etmek amacıyla 2005-2017 yılları arasında yayınlanmış 120 işletmeye ait 391 adet raporu incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda göre, yıllar içerisinde rapor sayısında artış olduğu, en yaygın kullanılan rehberin GRI olduğu, yüksek uygulanma seviyesindeki rapor sayısının az olduğu ve en çok raporun imalat sanayinde hazırlandığı görülmektedir. Benzer şekilde Gümrah & Büyükepekçi (2019) Türkiye’de sürdürülebilirlik raporlamasında mevcut durumu tespit etmek için 2008-2017 yılları arasında yayınlanan sürdürülebilirlik raporlarını içerik analizi yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda en fazla raporun holdingler tarafından yayınlandığı, en az raporun kar amacı gütmeyen ve elektronik sektöründe faaliyet yürüten kuruluşlar tarafından yayınlandığı görülmektedir. Araştırmanın diğer önemli bir bulgusu da incelenen raporlarda ekonomik ve çevresel göstergelere daha detaylı biçimde yer verilirken sosyal göstergelere daha az yer verildiğidir. Yılmaz & Bayrak Oğuz (2020) Türkiye’deki konaklama işletmelerinin sürdürülebilirlik raporlarını içerik analizi yöntemi ile incelemiş ve GRI Turizm Göstergeleri ile karşılaştırarak analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda raporlarda sürdürülebilirliğin sosyal boyutuna yer verilirken, ekonomik boyuta ilişkin faaliyetlere en az seviyede yer verildiği belirtilmiştir. Ayrıca raporlarda standartta belirtilen nitelikte bilgilere yer verilmediği ve genel ifadeler kullanıldığı ve raporlama ilkelerine uyulmadığı

vurgulanmıştır.

Görüldüğü gibi Türkiye’de sürdürülebilirlik raporları ile ilgili yapılan çalışmalarda, raporlama standartlarına uyum, göstergeler arasındaki dengenin sağlanamaması ve içeriğin yetersizliği gibi eksiklikler tespit edilmiştir.

Literatürde havacılık ve THY özelinde de sürdürülebilirlik kapsamında araştırmalar hayata geçirilmiştir. Hooper & Greenall (2005) tarafından havayolu endüstrisinde çevresel raporlama uygulamalarına ilişkin gerçekleştirilen çalışmada, nicel verilerde yıllar içerisinde artış olmasına rağmen göstergelerin kesin tanımlamalarındaki farklılıklar nedeniyle havayolu sektöründe sosyal ve çevresel performans karşılaştırmasında zorluklar olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Chen & Lin (2009), Asya’nın önde gelen on iki havayolu işletmesinin kurumsal sosyal sorumluluk raporlarını incelemiştir. Araştırmanın sonucunda raporların içeriği ve kapsamında önemli farklılıklar olduğu, bu nedenle de işletmeler arasında karşılaştırma yapılamadığı belirtilmiş ve havacılık endüstrisinin standart bir çerçeveye ihtiyacı olduğu vurgulanmıştır.

Kılıç, Uyar & Karaman (2019), küresel havacılık sektöründe sürdürülebilirlik performansı ve sürdürülebilirlik raporları arasındaki ilişkiyi test etmek amacıyla 2011-2016 yıllarını kapsayan bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre güçlü yönetim sistemine sahip ülkelerde sürdürülebilirlik raporları yayınlama oranı daha yüksektir. Benzer şekilde ekonominin ve endüstrinin büyüklüğü de sürdürülebilirlik raporlamasının mevcudiyeti ve seviyesi açısından önemli belirleyicilerdir. Ülkenin sosyal ve çevresel performansı, havacılık işletmeleri açısından sürdürülebilirlik raporu hazırlanmasında itici güçtür.

Battal (2018), Türk Hava Yolları sürdürülebilirlik raporu ve Güney Afrika Havayolları entegre raporlarını inceleyerek karşılaştırmalar gerçekleştirdiği çalışmayı hayata geçirmiştir. Çalışmanın sonucunda THY Sürdürülebilirlik raporlamasının rapor kılavuzuna tam uyum sağlamadığı, Güney Afrika Hava Yolları Entegre Raporunun ise entegre raporlama çerçevesine uyum sağladığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında yazar küresel bazda faaliyet gösteren Türk Hava Yolları işletmesinin sürdürülebilirlik raporlarını içerik ve nitelik ilkeleri bağlamında iyileştirerek tüm paydaşların ekonomik, çevresel ve sosyal beklentilerini karşılaması gerektiğini vurgularken, entegre raporlamaya geçmesi önerisinde de bulunmuştur. Benzer şekilde Güney & Dinler (2021), THY’nin 2018 ve 2019 yılı sürdürülebilirlik raporlarını GRI Özel Standart Bildirimleri çerçevesinde değerlendirmiştir. Araştırmanın sonucunda yazarlar THY’nin 2018 ve 2019 raporlarında farklı sayfalarda birçok konuya ilişkin bilgiler yer almasına rağmen raporda bazı göstergelerin yer olmadığını belirlemiş ve bu göstergelerin gelecek yıllarda yayınlanacak raporlara eklenerek firmanın şeffaflığının gelişmesine katkı sunulmasını önermişlerdir.

THY sürdürülebilirlik raporları kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda genel öneri raporlamanın hem raporlama standartlarına uyum hem de içerik kapsamında geliştirilmesi gerektiği yönündedir. Günümüzün yükselen değerleri olan havacılık ve sürdürülebilirliğin gelişiminin önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada Türkiye’nin bayrak taşıyıcı hava yolu işletmesi olan Türk Hava Yolları (THY)’nin 2014-2021 yılları arasında yayınlamış olduğu sürdürülebilirlik raporlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın en önemli özgülüğü raporlarının betimsel olarak incelenmesi ve raporların içeriğinde yıllar içerisinde nasıl bir değişim yaşandığının ortaya konulmasıdır.

YÖNTEM

Uygulama bölümünde nitel araştırma yöntemlerinden tekli keşifsel durum çalışması tercih edilmiştir. Keşifsel (exploratory) durum çalışması bir durumu tüm açıklığıyla anlamaya imkân sağlamaktadır (Yin, 2018). Nitel verilerin analizinde farklı uygulamalar var olmak ile birlikte bu çalışmada THY’nin sürdürülebilirlik raporlarındaki değişimi anlamak için Walcott (1994) tarafından geliştirilen betimleme, analiz ve yorumlama kategorilerinden oluşan yöntem tercih edilmiştir. Walcott tarafından önerilen yöntemde araştırmacının olayları belirli bir düzen içerisinde anlatması önerilmekte ve okuyucuya

incelenen olayın doğrudan aktarılması vurgulanmaktadır (Walcott, 1994: 23-29; Özdemir, 2010: 331). Betimsel analizde amaç elde edilen bulguların okuyuculara özetlenmiş ve yorumlanmış bir şekilde sunulmasıdır (Yıldırım & Şimşek, 2003).

Araştırma kapsamında amaçlı örneklem modeli kullanılarak Türk Hava Yolları (THY) işletmesi durum analizine tabii tutulmuştur. Amaçlı örneklem modeli ile hedeflenen araştırmanın konusunu oluşturan durum hakkında derinlemesine bilgi toplamaktır (Maxwell, 1996). THY işletmesi, havacılık sektöründe Türkiye'nin bayrak taşıyıcı işletmesi olmasının yanında global ekonomideki güçlü konumu ve 2014 yılından bu yana sürdürülebilirlik raporu yayınlıyor olması nedenleri doğrultusunda örnek durum olarak belirlenmiştir. Araştırma kapsamında, THY'nin kurumsal web sayfasında yayınlamış olduğu, 2014-2021 yıllarına ait 8 adet rapor incelenmiş ve yıllar içerisindeki değişim analiz edilmiştir. İncelemeler Nisan-Eylül 2023 aralığında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada THY sürdürülebilirlik raporları standart gerekliliklerini karşılama bağlamında değerlendirmek amacıyla değil, THY'nin sunduğu verilerin yıllar içerisindeki değişimini anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Araştırma kapsamında THY'nin kurumsal sayfasında (<https://investor.turkishairlines.com/tr/kurumsal-yonetim/surdurulebilirlik>) yayınlamış olduğu 2014-2021 yıllarına ait sekiz adet sürdürülebilirlik raporu detaylı olarak incelenmiştir. THY sürdürülebilirlik raporları incelendiğinde ilk dört raporun GRI-G4 klavuzundaki standartlara göre hazırlandığı, 1 Temmuz 2018 tarihinde GRI standartlarının zorunlu hale gelmesi ile birlikte sonraki raporların GRI standartlarına göre hazırlandığı görülmektedir. (Güney & Dinler, 2021: 112).

Raporda;

- THY Hakkında
- Sürdürülebilirlik yönetimi,
- Ekonomi,
- Çevre,
- Sosyal

ana başlıkları yer almaktadır.

THY hakkında

THY hakkında bölümünde THY'nin ortaklık yapısı, vizyon ve misyonu, rekabet gücü ve stratejik öncelikleri tanımlanmıştır. 2014 – 2020 yılları arasında yayınlanan raporlarda sayılarla THY başlığı altında bir bölüm yayınlanarak THY'nin yapısı rakamlar ile anlatılmıştır. 2021 yılı raporunda bu bölüm kaldırılarak sayılar ilgili bölüm başlıkları altında raporun genelinde sunulmuştur. Raporlar incelenerek elde edilen bulgular doğrultusunda **Rakamlarla THY** Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Rakamlarla THY

Yıllar	Uçuş Yapılan Ülke	Uçak Sayısı	Filo Yaş Ortalaması (yıl)	Çalışan Sayısı	Yolcu Sayısı (milyon)	Kargo miktarı (ton)	Azaltılan CO ₂ Emisyonu	Toplam Satış (Milyon \$)	Net Kar (Milyon \$)
2014	108	261	7,2	19.902	54,7	667.54	86.916	11.070	845
2015	113	299	6,9	22.030	61,2	720.44	85.639	10.522	1069
2016	119	334	7,1	24.124	62,8	876.228	138.522	7.792	-77
2017	120	329	7,7	24.075	68,6	1.122.697	147.283	10.958	223
2018	124	332	8,2	26.739	75,2	1.412.423	93.267	12.855	753
2019	126	350	8,3	29.491	74,3	1.543.028	174.800	13.229	788
2020	127	363	8,4	28.668	28	1.487.233	71.695	6.734	-836
2021	128	370	8,5	27.532	44,8	1.900.000	117.815	10.686	1.400

Tablo 1’de görüldüğü gibi THY’nin uçuş yaptığı ülke sayısı yer yıl artış göstermiştir. Uçak sayısı 2017 yılı dışında artarken filo yaşı ortalaması da 2015 yılı dışında artış eğilimindedir. Çalışan sayısı (2017 yılında sınırlı bir düşüş görülmekte) 2019 yılına kadar artarken, 2020 ve 2021 yıllarında azalış göstermiştir. Yolcu sayıları incelendiğinde 2014-2019 yılları arasında düzenli bir artış görülürken, Covid 19 pandemisinin etkisiyle 2019 yılında düşük ancak 2020 yılında keskin bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Taşınan kargo miktarı incelendiğinde, 2020 yılındaki az miktarda bir düşüş dışında yıllar içerisinde genel bir yükselme eğilimi olduğu görülmektedir. Azaltılan CO₂ miktarı incelendiğinde, düzenli bir artış kaydedilmediği artış ve azalışların farklılık gösterdiği görülmektedir. Toplam satış gelirleri ve net kar verileri incelendiğinde, 2017-2018-2019 yıllarında artış eğiliminin olduğu ancak 2020 yılında Covid 19 pandemisi etkisiyle keskin bir düşüş yaşandığı görülmektedir. 2021 yılında bir önceki yıla kıyasla toplam satış gelirleri ve net karda yüksek oranda artış kaydedilmiştir.

Sürdürülebilirlik Yönetimi

Raporların tamamında sürdürülebilirlik yönetimi başlığı altında paydaş katılımı ve kurumsal yönetim alt başlıklarına yer verilmiş ve bu kapsamda veriler sunulmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Sürdürülebilirlik Yönetimi

1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YÖNETİMİ	Paydaş Katılımı	Hissedarlar Mali ortaklar Yatırımcılar Çalışanlar Sendikalar Devlet/düzenleyici makamlar Yerel otoriteler Sertifikasyon kuruluşları Müşteriler Toplum Sivil toplum kuruluş Akademik kuruluşlar üniversiteler İlgili kuruluşlar ve dernekler	
	Kurumsal Yönetim	Yönetim kurulu Hissedarlar Risk yönetimi İş ahlakı	Risk yönetimi stratejisi İç kontrol mekanizması Veri ve bilgi güvenliği Mevzuata uyum Etik davranış eğitimleri Suistimal raporlanması Rüşvet ve yolsuzlukla mücadele

Paydaş Katılımı

Paydaş katılımı başlığı altında ilk olarak **hissedarlar, mali ortaklar ve yatırımcılar** ile gerçekleştirilen faaliyetlere yer verilmiştir. Tablo halinde sunulan verilere göre belirtilen paydaşlarla azınlık hakları, operasyonel ve finansal performans ve strateji temel konularında faaliyetler yürütülmüştür. Her yıl yatırımcı günü etkinlikleri düzenlenmiş, 2014 ve 2020 yılları hariç 5 yıl ortaklıklarıyla ilgili bilgi talebi nedeniyle e-mail yoluyla gelen yaklaşık 2.520 adet mesaj cevaplandırılmıştır.

Paydaş katılımı ana başlığı altında ikinci alt başlık **çalışanlar ve sendikalar**dır. Bu kapsamda temel etkileşim konuları iş ahlakı, kültürel değerler, çalışan memnuniyeti, örgütlenme ve toplu sözleşme hakkı, uçuş emniyeti ve güvenliği, iş sağlığı ve güvenliği ve esenlik, ayrımcılıkla mücadele ve çeşitlilik, performans ve kariyer gelişimi olarak tanımlanmış ana etkileşim kanalları “etik hat” uygulaması, “empati” adlı şirket televizyonu, bülten ve internet sitesi, toplantılar, etkinlikler ve anketler olarak belirtilmiştir.

Raporlar incelendiğinde, her yıl için etik hatta gelen bildirimlere ilişkin sayıların verildiği görülmektedir. 2015 yılında sürdürülebilirlik kulübü kurulduğu, 2019 yılında “Personel İlişkileri Müdürlüğü” kurulduğu, 2020 yılında “Çalışan Deneyimi Müdürlüğü” kurulduğu belirtilirken bu yıl Covid 19 pandemisinin yarattığı olumsuz etkileri azaltmak amacıyla daha geniş çaplı uygulamaların hayata geçirildiği görülmektedir. Bu başlık altında en dikkat çekici durum 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait çalışan memnuniyeti değerlendirme sonuçlarına yer verilirken diğer yıllarda bu bilginin sunulmamış olmasıdır.

Paydaş katılımı ana başlığı altında üçüncü alt başlık **devlet, düzenleyici makamlar ve yerel otoriteler**dir. Bu kapsamda temel etkileşim konu başlıkları sosyal ve ekonomik kalkınma, müşteri hakları, mevzuata uyum, mali performans, uçuş emniyeti ve güvenliği, ağaçlandırma, iş sağlığı ve güvenliği, gürültü ve atık yönetimi olarak tanımlanırken denetimler, toplantılar ve raporlar ana etkileşim yolları olarak belirlenmiştir. Ancak 2021 yılı raporunda raporda yapılan değişiklik ile birlikte “devlet, düzenleyici makamlar ve yerel otoriteler” paydaş grubu olarak yer almamıştır.

Raporlar incelendiğinde 2014 yılında 500 bin ağaç dikimi yapıldığı belirtilmiştir. 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 yıllarında “2014’ten bu yana Anadolu’ya 1 milyon fidan dikildi” ibaresinin korunduğu görülmekte olup 2020 ve 2021 yılları için bu bilgi sunulmamıştır. 2015 ve 2019 yılları dâhil olmak üzere inişli çıkışlı bir düzende ortalama 45.155 ton yakıt tasarrufu sağlandığı ve 2015-2020 yıllarında da ortalama 118.534 ton sera gazı (karbon) emisyonu engellendiği belirtilmiştir. 2014 ve 2015 yıllarına ait raporlarda “atık türleri belirlendi ve atıkları ayrı toplama uygulaması başlatıldı” ibaresi, 2017 yılı raporunda “yeşil kuruluş sertifikası alındı” ibaresi yer almaktadır.

Paydaş katılımı ana başlığı altında dördüncü alt başlık **sertifikasyon kuruluşları**dır. Bu kapsamda temel etkileşim konu başlıkları, çevre yönetimi, kurumsal emniyet, uçuş güvenliği, iş sağlığı, güvenlik ve esenlik, gürültü yönetimi ve kalite yönetimi olup ana etkileşim kanalı düzenli olarak gerçekleştirilen denetimlerdir. Raporlar incelendiğinde, 2014-2015 yıllarında ISO 14001, ISO 9001, OHSAS 18001 sertifikalarının yenilendiği TS EN ISO 14001 sisteminin 2015 yılı versiyonuna 2018 yılında geçiş yapıldığı görülmektedir. 2017-2018-2019-2020 yılları raporlarında ISO 14064’e göre sera gazı raporu hazırlandığı ve doğrulamasının yapıldığı belirtilmektedir. 2020 yılında International Air Transport Association (IATA)’nın havayolu şirketleri için özel tasarlanmış olduğu IATA Çevre Değerlendirme Yönetim Sistemi (Environmental Assessment IEnvA) Programına katılım sağlanmıştır. 2021 yılı raporunda bu başlığa özel bir ekleme yapılmamıştır.

Paydaş katılımı ana başlığı altında bir sonraki alt başlık **müşteriler**dir. Bu kapsamda temel etkileşim konu başlıkları; erişilebilirlik, müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesi, müşteri hakları, uçuş emniyeti ve güvenliği, yenilikçi ürünler/hizmetler ve sürdürülebilir ikram olup ana etkileşim kanalları müşteri ilişkileri çağrı merkezi, anketler, kabin içi emniyet broşürleri ve videoları, “Skylife” adlı dergi, web sayfası ve ve sosyal medya araçları olarak tanımlanmıştır. Raporlar incelendiğinde 2014 yılında Self check-in kiosk uygulamasının 11 dilde kullanıma sunulduğu, 2015 yılında ISO 10002 Müşteri Memnuniyeti sertifikasının alındığı görülmektedir. Raporlarda her yıl değişen sayılar ile müşteri memnuniyeti anketleri uygulanarak müşteri taleplerinin dikkate alındığı belirtilirken anket sonuçlarına yer verilmemiştir. 2021 yılı raporunda bireysel ve kurumsal müşterilere ayrı başlıklar altında genel ifadelerle yer verilmiştir.

Paydaş katılımı ana başlığı altında bir sonraki alt başlık **toplum** olup, temel etkileşim konuları toplumsal ve ekonomik kalkınma ve sosyal sorumluluk projeleri olarak tanımlanmıştır. Ana etkileşim kanalları dernek ve hayır kuruluşları ile toplantılar ve okul / hastane ziyaretleri olarak belirtilmiştir. Raporlar incelendiğinde her yıl düzenli olarak farklı konularda sosyal sorumluluk projeleri gerçekleştirildiği görülmektedir. 2014 yılında beş ayrı pediatrik onkoloji bölümü için bin 500 kitaplık bir kütüphane kurulduğu, 100 köyde toplam 10 bin çocuğa eğitim malzemesi desteği verildiği görülmektedir. 2015 yılında 25 Afrika ülkesinde 100 proje gerçekleştirilmiş, Afrika’da 10 adet güneş enerjili sistem kurulmuş, Nepal depreminden sonra bölgeye 1.000 adet çadır gönderilmiştir. 2016 yılında 16 ülke, 23 destinasyonda projeler gerçekleştirilmiş, Afrika’da 11 noktada bilgisayar sınıfları kurulmuş, Nijerya’dan Sudan’a kadar 50’ye yakın su kuyusu açılmıştır. 2017 yılında Florya’daki araziye, 18 simülâtör ve 45 derslik kapasiteli ve mock-up alanına sahip yeni bir Uçuş Eğitim Merkezinin yapımı tamamlanmıştır. 2017, 2018, 2019, 2020 yıllarına ait raporlarda raporun farklı sayfalarına atıf yapılmış ancak 2018 ve 2019 raporlarında belirtilen sayfalar incelendiğinde herhangi bir veriye ulaşılamamıştır. 2020 yılı raporunda web sitesindeki sosyal sorumluluk projeleri sayfasına atıf yapılmış olup bu sayfa incelendiğinde farklı kurum ve sivil toplum kuruluşları ile yürütülen projeler tanıtılmıştır.

Paydaş katılımı ana başlığı altında bir sonraki alt başlık **sivil toplum kuruluşları** olup, temel etkileşim konuları kurumsal sosyal sorumluluk projeleri ve erişilebilirlik, ana etkileşim kanalları fuar ve etkinlikler olarak tanımlanmıştır. Raporlar incelendiğinde 2014, 2015, 2016 yıllarında “Katılımcılarla ve CSR Europe ve Türkiye KSS Derneği üyeleriyle ortak gerçekleştirilen Türk Hava Yolları KSS Projeleri” çıktılarına yer verilirken 2017, 2018, 2019, 2020 yıllarında faaliyet raporlarına atıf yapıldığı görülmektedir. 2021 yılı raporunda sivil toplum örgütlerinden en fazla saha çalışmaları kapsamında ulaşım konusunda talep geldiği belirtilmiş ve “şirket hedefleri ve değerleriyle uyumlu sivil toplum kuruluşlarıyla proje bazlı iş birliği yaparak, imkanlar dahilinde ulaşım desteği sunulmaktadır” ifadesine yer verilmiştir.

Paydaş katılımı ana başlığı altında bir sonraki alt başlık **akademik kuruluşlar ve üniversiteler** olup, temel etkileşim konuları eğitim, istihdam ve kariyer fırsatları, ana etkileşim kanalları toplantılar, kariyer günleri ve sosyal medya olarak tanımlanmıştır. Raporlar incelendiğinde 2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi ile Hava Taşımacılığı Yönetimi Yüksek Lisans Programı açıldığı, 2015 yılında “Industrial R&D and Technology” programı başlatıldığı görülmektedir. 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 yıllarında Uçuş Korkusunu Yenme Programı adı altında kaç kişiye hizmet sunulduğu bilgisine yer verilmiştir. 2021 yılı raporunda ise yüksek lisans, staj ve istihdam konularında uygun görülmesi halinde destek sunulduğuna dair bir ifadeye yer verilmiştir.

Paydaş katılımı başlığının son alt başlığı **ilgili kuruluşlar ve dernekler** olup bu bölümde yerli ve yabancı STK ve sanayi kuruluşları ile yürütülen çalışmalara yer verilmiştir. Örneğin, 2014, 2015 yıllarında üniversiteler, Tüm Sivil Havacılık Derneği, Türkiye Ulusal Ajansı ve T.C. Devlet Demiryolları ile eğitim ve kapasite gelişimi konusunda, 2016, 2017 yıllarında Çevre Bakanlığı ile biyoçeşitlilik, ÇEVKO ile atıklar, Star Alliance ile sürdürülebilir büyüme konularında, 2018-2019-2020 yıllarında İstanbul Havalimanı işletmesi ile atıklar konusunda çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Kurumsal Yönetim

Sürdürülebilirlik Yönetimi başlığı altında yer alan kurumsal yönetim alt başlığı 2014-2020 yılı raporlarında aynı isim ile yer alırken 2021 yılı raporunda kurumsal üyelikler olarak değiştirilmiştir. Bölümde THY’nin ortaklık yapısı anlatılmış ve yönetim kurulu, hissedarlar, risk yönetimi ve iş ahlakı alt başlıklarına yer verilmiştir.

Yönetim kurulu başlığı altında yönetim kurulu üyeleri, alt komiteler ve yıllık yapılan toplantı sayıları sunulmuştur. **Hissedarlar** başlığı altında yatırımcı ve analistlerin THY’nin finansal, operasyonel ve stratejik gelişimi konusunda nasıl bilgilendirdiğine dair bilgilere (kaç adet yatırımcı konferansına katılım sağlandığı, yatırımcı günü toplantıları, kaç kurum ve yatırımcı ile bir araya gelindiği, kaç bilgi edinme mesajına yanıt verildiği) yer verilmiştir.

Risk Yönetimi alt başlığı 1. Risk yönetimi stratejisi, 2. İç kontrol mekanizması ve 3. Veri ve bilgi güvenliği başlıklarından oluşmaktadır. **Risk yönetimi stratejisinde** THY’nin rekabetin yüksek olduğu sektörde potansiyel risklerin öngörülebilmesi ve sürdürülebilir büyümenin sağlanabilmesi doğrultusunda etkin bir risk yönetimi stratejisine sahip olduğu vurgulanmaktadır. **İç kontrol mekanizması** başlığı altında THY’de kurumsal yönetişim, risk ve kontrol süreçlerinin etkinliğini sistematik ve disiplinli bir biçimde denetlemek, süreçlerin etkin bir biçimde çalışmasını sağlamak konularında danışmanlık ve güvence hizmeti vermek, görüş ve önerilerde bulunmak üzere Teftiş Kurulu Başkanlığı bulunduğu belirtilmiştir.

2020 yılı raporunda önceki yıllarda yer almayan **Veri ve bilgi güvenliği** başlığına yer verilmiş bu başlık 2021 yılı raporunda **Bilgi güvenliği** olarak isim değiştirmiştir. 2020 yılı raporunda başta müşteri bilgileri olmak üzere tüm kritik şirket bilgilerinin uygun bir şekilde yönetilebilmesini ve korunabilmesini sağlamak amacıyla ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi uygulandığı belirtilmiştir. 2021 yılı raporunda bu duruma ek olarak bilgi güvenliği risklerinin yönetiminde yeni siber risk yönetimi yaklaşımlarının takip edildiği ve konu hakkında birçok çalışma yapıldığı belirtilmiştir.

Kurumsal yönetimin diğer bir alt başlığı olan **iş ahlakı** başlığı altında 2014-2019 yılları raporlarında

“İş Ahlakı Anlayışımız” adı altında bilgi notu değişmeden yer almıştır. 2014-2020 raporlarında çalışanlara göreve başlarken “Kurumsal Etik Kurallar El Kitabı” ve “Kurumsal Etik Prosedürleri” ile bilgilendirme yapıldığı bilgisi yer almaktadır. Böylelikle çalışanların çalışma hayatının genel prensipleri doğrultusunda söz ve davranışlarında yasalara, etik değerlere, toplumsal normlara ve çevreye saygılı hareket etmelerinin sağlandığı belirtilmiştir. 2017 yılında Etik Kurul Prosedürü’nün yürürlüğe girdiği, 2018 yılında Etik Kurallar Kitabı’nda revizyona gidildiği ifade edilmiştir. 2019 yılında THY’nin marka imajı ve etik konulara hassasiyetini açıkça belirten, yönetici ve çalışanlarının nasıl bir vizyon ve misyon ile hareket ettiğine ilişkin yol haritasını içeren “Etik Kodlar” hazırlandığı bilgisi sunulmuştur. 2020 yılı raporunda Etik Kurallar Kitabı’nın revizyonunun devam ettiği Etik Kurul Prosedürünün revizyonunun tamamlandığı ve “Etik Kodlar”ın hazırlandığı bilgilerine yer verilmiştir. 2021 yılı raporunda Etik Kurallar El Kitabının içerğinin geliştirilerek “İş Etiği ve Davranış Kuralları” dokümanının hazırlanması doğrultusunda çalışmalara başlandığı belirtilmiştir.

İş Ahlakı başlığı altında **1. Mevzuata uyum, 2. Etik davranış eğitimleri, 3. Suistimal raporlaması, 4. Rüşvet ve yolsuzlukla mücadele** başlıkları yer almaktadır. 2014-2019 yılı raporlarında **mevzuata uyum** başlığı yer almış ve kanunlara ve düzenlemelere bağlı olmanın ötesinde tüm karar ve operasyonlarında etik kurallara uyum sağlama beyanı korunmuştur. 2020 ve 2021 yılı raporlarında bu başlığa yer verilmemiştir. Etik davranış eğitimleri başlığında 2014 ve 2015 yıllarında eğitim verilen katılımcı sayıları belirtilirken, 2016-2020 yıllarına ait raporlarda “tüm iletişim kanalları üzerinden etik kural ve değerlere ilişkin farkındalık çalışmaları yürütüldüğü” ibaresine yer verilmiştir. 2016, 2017, 2018 ve 2019 raporlarının tamamında aşağıdaki metin yer almakta olup 2020 ve 2021 yılı raporlarında metinde geçen online etik eğitiminden bahsedilmemektedir.

“Tüm Ortaklık çalışanlarına zorunlu olarak atanacak olan ve THY A.O. etik kurallarının neler olduğuna, etik kuralların neden önemli olduğuna, çalışana ve çalışma huzuruna nasıl ve ne şekilde fayda sağladığına, etik kurallara aykırı durumlara maruz kalınması yahut şahit olunması durumunda ne yapılması gerektiğine dair bilgiler içeren bir online etik eğitimi içeriği hazırlanmış. Eğitimin dijital platformlarda hazır hale getirilmesi için seslendirme ve animasyon çalışmaları sürdürülmektedir.”

Suistimal raporlaması başlığında çalışanların ayrımcılık, rüşvet, menfaat çatışması ve rekabete aykırı durumlar gibi konularda işletme ilkelerine aykırı durumlarda şikayetlerini iletebildikleri “Etik Hat” uygulamasından bahsedilmiş ve her yıl gelen başvurular anlatılmıştır. 2020 yılında Covid 19 nedeniyle uzaktan çalışmaya geçilmesiyle etik hatta gelen başvurularda azalma görülmüş, onun dışında her yıl bir önceki yıla göre artış görülmüştür.

Tüm yıllara ait raporlarda **Rüşvet ve yolsuzlukla mücadele** başlığı altında yapılan çalışmalara değinilmiş ve THY’nin raporlama dönemi boyunca rüşvet ve yolsuzlukla ilgili herhangi bir ceza almadığı belirtilmiştir.

2021 yılı raporuna kurumsal yönetim başlığının altına eski raporlarda yer almayan yasal uyum ve adil rekabet başlığı eklenmiştir. Raporda “Havacılık sektörü çok sayıda alanda uluslararası örgütler ve faaliyet yürütülen ülkelerin düzenlemelerine tâbi bir alandır. Düzenlemelerin dinamik yapısı ve yasal uyum süreçlerinde proaktif bir yaklaşım geliştirebilmek için Hukuk Müşavirliği bünyesinde uyumluluk departmanı oluşturulması ve hukuk müşavirliğinin adının Hukuk ve Uyum Müşavirliği olarak değiştirilmesi çalışmaları devam etmektedir” ibaresine yer verilmiştir. Ayrıca “2021 yılı içerisinde ürün ve hizmetlerin sağlanma şartlarını düzenleyen yasalara aykırılıktan dolayı, Ortaklığımız aleyhine 107.989 TL para cezası düzenlenmiş olup, ilgili yılda Ortaklığımız aleyhine düzenlenen belirgin büyüklükteki parasal cezaların toplam tutarı ise 1,1 milyon TL’dir. Bununla birlikte 2021 yılı içerisinde 1 adet durdurma cezası alınmıştır” ifadesine yer verilmiştir.

Ekonomi

Raporların tamamı incelenerek ekonomi başlığının alt başlıklarındaki değişim Tablo 3’de

gösterilmiştir. 2014-2019 yılları raporlarında alt başlıklar benzerlik gösterirken 2020 ve 2021 yılı raporlarında kapsamda oldukça değişikliğe gidilmiştir.

Tablo 3. Ekonomi

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (Giriş bölümünün altında)
	<u>Havacılığın katkıları</u>			Havacılığın katkıları		Bağlantılılığın faydaları	Finansal performans	<u>Ekonomiye katkı</u>
	- Havacılık sektörünün 4 ana ekonomik katkısı						Ekonomi alanındaki izlerimiz	- Türkiye'nin GSYİH'sine katkı
	- Çevre üzerindeki etkilerin azaltılması							- Kamu finansmanına katkı
2. EKONOMİ	<u>Ekonomi alanındaki izler</u>			<u>Ekonomik ve toplumsal kalkınmaya yönelik katkılarımız</u>			<u>Ekonomik ve toplumsal kalkınmaya yönelik katkılarımız</u>	- İstihdam yaratmaya katkı
	- Türkiye'nin GSYİH'sine katkı			- Türkiye'nin GSYİH'sine katkı			- Türkiye'nin GSYİH'sine katkı	- Türkiye'nin ihracatına katkı
	- Kamu finansmanına katkı			- Kamu finansmanına katkı			- Kamu finansmanına katkı	- Uçuş noktası ekonomilerine katkı
	- İstihdam yaratmaya katkı			- İstihdam yaratmaya katkı			- İstihdam yaratmaya katkı	- Tedarik operasyonlarının katkısı
	- Türkiye'nin ihracatına katkı			- Türkiye'nin ihracatına katkı			- Türkiye'nin ihracatına katkı	
	- Turizme katkı			- Turizme katkı			- Turizme katkı	
	- Uçuş noktası ekonomilerine katkı			- Uçuş noktası ekonomilerine katkı			- Turizme katkı	
	- Bağlantılılığın faydaları						Sorumlu tedarik zinciri yönetimi	
							Uçuş noktalarımızdaki yerel kalkınmaya katkı	
				Ekonomi alanındaki izlerimiz			İnovasyon ve girişimcilik	

Sürdürülebilirlik raporlarında *Ekonomi* başlığının altında havacılığın katkıları alt başlığında sektörün dünya ekonomisine etkisi ve geleceğe yönelik hedefleri rakamsal ifadelerle sunulmuştur. 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılı raporlarında yer alan bu bilgilere 2019 ve 2020 yılı raporlarında yer verilmemiştir. Veriler incelendiğinde Dünya'da havacılık sektörünün büyüklüğünün yıllar içerisinde artıp azaldığı dönemler olduğu görülmek ile birlikte küresel gayri safi hasıla içindeki oranının % 3,4-3,5 ile korunduğu görülmektedir.

Ekonomi başlığı altında diğer önemli alt başlık tüm raporlarda yerini koruyarak kıyaslama yapılabilmesine olanak veren *ekonomi alanında izlerimiz* veya ilerleyen yıllarda değişen adıyla *ekonomik ve toplumsal kalkınmaya katkı* alt başlığıdır. Bu kapsamda sunulan veriler tüm rapordan derlenerek Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Ekonomik ve Toplumsal Kalkınmaya Katkı

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Taşınan yolcu %'si*	44	46	51	50	50	47	49	--
Sefer düzenlenen ülke sayısı	108	115	119	120	124	126	127	128
Uçuş noktası sayısı	261	287	295	300	310	318	324	333
Sektörün Türkiye GSYİH'sine katkı miktarı	61 milyar TL	23.4 milyar USD	20 milyar USD	24.3 milyar USD	27.2 milyar USD	29.2 milyar USD	14.2 milyar USD	10,7 milyar USD
Türkiye GSYİH'sine oranı	%3,5	%3,3	%2,7	%3	%4	%4	%2	--
THY'nin kamu finansmanına katkısı	1299 milyon USD	1406 milyon USD	998 milyon USD	1 milyar 57 milyon USD	1 milyar 301 milyon USD	1 milyar 380 milyon USD	473 milyon USD	863 milyon USD
Sektörün istihdam yaratmaya katkısı	187.000 kişi	191.000 kişi	191.000 kişi	196.000 kişi	209.000 kişi	225.000 kişi	246.000 kişi	--
THY'nin istihdama katkısı	25.117	27.688	30.559	31.543	35.275	38.804	37.841	37.325
THY'nin Türkiye ihracatına katkısı	8 milyar USD	6.4 milyar USD	7.6 milyar USD	10.002 milyon USD	--	--	--	8,7 milyar USD

Sektörün Türkiye turizmine katkısı	Türkiye'ye gelen turist (milyon kişi)	36,8	36,3	25,4	32,4	39,5	45,1	12,7	--
	Hava taşımacılığı kullanan turist (Milyon kişi)	26,86	26,86	17,78	23,33	30,02	34,73	9,5	--
	%	73	74	70	72	76	77	75	--
THY'nin uçuş noktalarındaki yerel kalkınmaya katkısı** (Milyon kişi)		0,9	1	1,2	1,4	1,5	1,5	0,63	1,11

*Türkiye'de havayolu taşımacılığı kullanan toplam yolculardan THY'yi tercih edenlerin yüzdesi.

**Birleşmiş milletlerin en az gelişmiş ülkeler kategorisinde yer alan: 2014 yılında 48 ülkeden 16'sına, 2015 yılında 48 ülkeden 22'sine, 2016 yılında 47 ülkeden 21'ine, 2017 yılında 47 ülkeden 22'sine, 2018 yılında 47 ülkeden 27'sine, 2019 yılında 47 ülkeden 26'sına, 2020 yılında 46 ülkeden 26'sına ve 2021 yılında 46 ülkeden 26'sına sefer düzenlemiştir. Bu satırda THY'nin sefer düzenlediği ülkelerden taşıdığı yolcu sayıları verilmiştir.

Tablo 4 incelendiğinde bazı maddelerin sektör bazında, bazılarının ise THY özelinde sunulduğu görülmektedir. Öncelikle sefer düzenlenen ülke ve uçuş noktası sayısının yıllar içerisinde düzenli artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak taşınan yolcu yüzdesinin yıllar içerisinde değişkenlik gösterdiği görülmekte olup, 2021 yılı raporunda bu yüzdeye yer verilmemiş ve **“taşınan yolcu sayısı 1 milyon 110 bine yakın”** ifadesi kullanılmıştır.

Türkiye'nin GSYİH'sine katkı maddesi sektörel bazda verilmiş olup katkı miktarının yıllar içerisinde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Sektörün GSYİH'ya katkısı oransal olarak incelendiğinde yıllar içerisinde %3-4 aralığındaki oranın korunduğu ve 2020'de Covid 19 pandemisinin etkisiyle keskin bir düşüş yaşandığı görülmektedir. 2021 yılı raporunda bu veriye yer verilmemiştir.

Kamu finansmanına katkı maddesi THY özelinde verilmiş olup yıllar içerisinde katkının artış eğiliminde olduğu ancak 2020 yılında keskin bir düşüş yaşandığı ve 2021 yılında tekrar artışa geçildiği görülmektedir. İstihdama katkı maddesi hem sektörel hem de THY bazında verilmiştir. Sektörün istihdama katkısı yıllar içerisinde artış eğiliminde olmuştur. THY'nin istihdama katkısı 2020 yılına kadar artış göstermiş olup 2020 yılında azalma eğilimine girmiştir.

Türkiye ihracatına katkı maddesi THY özelinde verilmiş olup katkının yıllar içerisinde artış ve azalışlar gösterdiği görülmektedir. 2018, 2019 ve 2020 yılları için bu veriler sunulmamıştır. Türkiye turizmine katkı maddesi sektörel bazda verilmiş olup, Türkiye'ye gelirken hava taşımacılığı kullanan turistlerin oranı incelendiğinde %70 ile %77 aralığında artış ve azalışlar olduğu görülmektedir.

Uçuş noktalarındaki yerel kalkınmaya katkı maddesi THY özelinde verilmiştir. Veriler incelendiğinde THY'nin az gelişmiş ülkelere taşıdığı yolcu sayısının 2020 yılı dışında artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Ekonomi başlığı altında yer alan bilgiler genel olarak incelendiğinde en önemli problemin sektörel ve THY özelindeki verilerin karmaşık bir biçimde raporda yer almasıdır. **“Sektörün Türkiye GSYİH'sına katkısı”** ve **“Sektörünün Türkiye turizmine katkısı”** başlıkları yerine THY'nin belirtilen bağlamdaki katkılarının sunulması gerekmektedir.

Çevre

Raporların tamamı incelenerek çevre başlığının alt başlıklarındaki değişim Tablo 5'de gösterilmiştir. 2014-2019 yılları raporlarında alt başlıklar benzerlik gösterirken 2020 ve 2021 yılı raporlarında kapsamda önemli değişikliklere gidilmiştir.

Tablo 5. Çevre

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (Dünya için başlığı altında)	2021 (Sorumlu şirket başlığı altında)
	Çevre yönetimi - Çevre politikası	Çevre yönetimi - Çevre politikası	Çevre yönetimi - Çevre politikası	Çevre uygulamaları ve hedefler			Hedefe göre çevre performansı ve gelecek hedefleri	İklim değişikliğiyle mücadele - Enerji ve emisyon yönetimi - Enerji politikası - Yakıt verimliliği - Karbon offset uygulamaları - Sürdürülebilir biyoyakıtlar
	İklim değişikliği	Gürültü yönetimi	Çevre yönetimi - Çevre politikası	Çevre yönetimi - Çevre politikası			Çevre yönetimi - Çevre politikası	Çevre yönetimi - Çevre politikası - Çevre hedefleri
3. ÇEVRE	Yakıt verimliliği THY'nin yakıt politikası - Faaliyetleri optimize etmek - Yeni teknolojilere yatırım yapmak - Altyapıyı geliştirmek	İklim değişikliğiyle mücadele	Kaynak verimliliği	Kaynak verimliliği			Kaynak verimliliği - Enerji politikası Atık yönetimi Biyçeşitlilik Tek kullanımlık plastikler İklim değişikliğiyle mücadele Karbon fiyatlandırması	Kaynak verimliliği - Su tüketimi - Kimyasal madde kullanımının azaltılması - Kâğıt tüketiminin azaltılması - Çevre dostu malzeme tercihleri - Kabin modifikasyon projeleri - Yeşil bina uygulamaları
	Atık yönetimi	Yakıt verimliliği THY'nin yakıt politikası - Faaliyetleri optimize etmek - Yeni teknolojilere yatırım yapmak - Altyapıyı geliştirmek	Gürültü yönetimi	Gürültü yönetimi	Atık yönetimi		Yakıt verimliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması Gürültü yönetimi	Atık yönetimi - Uçak gövdelerinin bertarafı Sorumlu ikram
	Gürültü	Atık yönetimi	İklim değişikliğiyle mücadele Yakıt verimliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması	İklim değişikliğiyle mücadele Yakıt verimliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması			Sürdürülebilir biyoyakıtlar Filo modernizasyonu	Filo modernizasyonu Gürültü yönetimi

Çevre Yönetimi

THY sürdürülebilirlik raporları çevre yönetimi başlığının altında öncelikle THY'nin faaliyetlerinin çevresel etkilerini mümkün olan en düşük seviyeye indirmek ve iklim değişikliği ile mücadele etmek için çalıştığı ve 2013 yılından bu yana TSE ISO EN 14001 Çevre Yönetim Sistemi belgesine sahip olduğu belirtilmektedir. 2016 yılında İstanbul ve Ankara çalışma alanları kapsamında “yeşil kuruluş” projesi başlatılmış, 2017 ve sonraki yıllarda çevre hedefleri raporda yerini almıştır.

Raporların tamamında o yıl çevre ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Çevre politikası her yıl içeriğinde küçük değişiklikler ile birlikte aşağıda belirtilen başlıklar altında yer almıştır:

- Kurallara uymak
- Çevre boyutlarını yönetmek
- Büyürken insanı ve çevreyi düşünmek
- Olumsuz çevresel etkileri en aza indirmek
- Gelecek nesillere yaşanabilir bir Dünya bırakmak
- Paydaşlarıyla birlikte gelişmek
- Sürekli iyileştirmek

İklim Değişikliği

İklim değişikliği başlığı altında “Birleşmiş Milletlerin düzenlediği Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline (IPCC) göre dünyada insan kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık yüzde 2’si havacılık sektörü kaynaklıdır” ibaresine yer verilerek sektörün karbon emisyonlarını azaltmakta kararlı olduğu belirtilmiştir.

2014, 2015 ve 2016 yılı raporlarında sektörün kısa ve uzun vadeli hedeflerine yer verilmiştir:

- 2009 yılından 2020 yılına dek: Yılda ortalama yüzde 1,5 verimlilik artışı
- 2020’den itibaren: Havacılık kaynaklı emisyon artışına üst sınır getirilmesi
- 2050 itibarıyla: Net emisyonları 2005 yılı seviyelerinin yarısına çekmek

Raporlarda THY’nin de bu hedeflere katkı sağlamak için çalıştığı belirtilmiştir. 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılı raporlarında iklim değişikliği kapsamındaki aksiyonlar hiçbir değişikliğe gidilmeden sunulmuştur.

2021 yılı raporunda çevre başlığı yerini “sorumlu şirket” başlığına bırakmış ve çevre ile ilgili faaliyetler daha geniş bir perspektiften sunulmuştur. Raporda iklim değişikliği başlığı altında enerji ve emisyon yönetimi, enerji politikası, yakıt verimliliği, karbon offset uygulamaları ve sürdürülebilir biyoyakıtlar ile ilgili çalışmalar hakkında detaylı bilgilendirmelere ve sayısal verilere yer verilmiştir.

Yakıt verimliliği

Yakıt verimliliği başlığı 2014, 2015 ve 2016 yılları raporlarında adını korurken, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılı raporlarında “yakıt verimliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması”, 2021 yılı raporunda “iklim değişikliğiyle mücadele” adı altında yer almıştır. Raporlarda her yıl yakıt verimliliğinin ölçülmesi, takibi ve karbon ayak izinin azaltılması kapsamında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. THY’nin yakıt politikası 1. Faaliyetleri optimize etmek, 2. Yeni teknolojilere yatırım yapmak ve 3. Altyapıyı geliştirmek olarak üç temel esasa dayandırılmıştır.

Raporlardan elde edilen verilere göre yıllar içerisinde karbon ayak izini azaltmaya yönelik çok sayıda faaliyet optimizasyonu projesi hayata geçirilmiştir. Bu uygulamalar sonucunda THY’nin yakıt tasarruf ve CO₂ emisyonundaki azaltma miktarları Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. THY 2014-2021 Yılları Yakıt Tasarrufu ve CO₂ Emisyonundaki Azaltma Miktarları

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Yakıt tasarrufu miktarı (ton)	27.592	27.592	43.975	46.757	29.608	55.492	22.760	37.082
CO₂ emisyonundaki azaltma miktarı (ton)	86.916	85.639	138.522	147.283	93.267	174.800	71.695	117.815

Tablo 6’da THY’nin 2014 - 2021 yılları arasında *yakıt verimliliği* uygulamaları doğrultusunda elde ettiği tasarruf miktarları ve CO₂ emisyonunu azaltmaya katkısı görülmektedir. Tasarruf miktarları incelendiğinde 2014 ve 2015 yıllarında aynı miktarlarda tasarruf sağlandığı görülmektedir. 2016 yılında tasarruf miktarında önemli bir artış elde edilmiş, 2017 yılında kısıtlı bir artış sağlanırken 2018 yılında yakıt tasarrufundaki artışta önemli bir düşüş görülmüştür. 2019 yılında Covid 19 pandemisi nedeniyle azalan uçuşlar yine yakıt tasarruf miktarında önemli bir artış sağlarken, 2020 yılında elde edilen tasarruf miktarı 2014 yılından bile daha düşük seviyeye ulaşmıştır. 2021 yılında tasarruf miktarında bir önceki yıla kıyasla %62’lik artış elde edilmiştir. Ancak raporda bahsi geçen karbon ayak izini azaltmaya yönelik 100’den fazla optimizasyon projesine rağmen tasarruf miktarlarında istikrarlı bir artış sağlanamaması, dolayısıyla CO₂ emisyonuna istikrarlı bir katkı sağlanamaması dikkat çekicidir.

Raporlarda yakıt verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması amacı doğrultusunda *yeni teknolojilere yatırım yapmak* başlığı altında en gelişmiş ve çevre dostu uçaklara yatırım yapıldığı belirtilmekte olup filo modernizasyonu uygulamalarına yer vermiştir. Raporlardan elde edilen verilere göre

2014-2021 yılları arası THY filosunun özellikleri Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. 2014-2021 Yılları THY Filo Özellikleri

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Dar gövde	197	216	234	223	218	230	234	246
Geniş gövde	55	73	87	90	92	97	104	104
Kargo	9	10	13	16	22	23	25	20
Toplam uçak	261	299	334	329	332	350	363	370
Ortalama filo yaşı	7,2	6,9	7,1	7,7	8,2	8,3	8,4	8,5

Tablo 7 incelendiğinde, THY’nin uçak sayısında 2017 yılı haricinde düzenli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir 2014 yılında 7,2 olan filo yaşının 2015 yılında 6,9’a düşürüldüğü, ancak ilerleyen yıllarda her yıl artış yaşanarak 2021 yılında 8,5’e yükseldiği dikkat çekmektedir.

Atık Yönetimi

Raporlarda atık yönetiminin, THY’de üretilen atık türlerinin ve kaynaklarının tespit edilmesi, atıkların kaynağında toplanması, ayrılması, geçici olarak depolanması, geri dönüştürülmesi ve ilgili mevzuata uygun olarak imha edilmesi süreçlerini içerdiği belirtilmektedir. Raporlardan elde edilen verilere göre 2014-2021 yılları arasında THY atık bildirimleri Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. 2014-2021 Yılları THY’nin Geri Dönüşüme Gönderdiği Atık Miktarları

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	İstanbul lokasyonlarında				İstanbul ve yurt içi lokasyonlarında			
Cam (ton)	3,260	3	--	--	69	--	--	--
Plastik	1,275	1	--	--	28	--	--	--
Kağıt	198,502	499	--	--	1225	--	--	--
Metal	175,049	--	--	--	--	--	--	--
Geri dönüşüme gönderilen toplam ambalaj atık miktarı	378,086	503	18	26	258	174	69	53,5
Geri dönüşüme gönderilen tehlikesiz atık miktarı	--	382	230	91	124	1.249	1.163	1.449
Tehlikeli atık miktarı*	30,018	58	132	99	115	153	35,9	105

*Tehlikeli atık toplama lisansına sahip şirketlere gönderilen tehlikeli atık miktarı.

Tablo 8 incelendiğinde, verilerin izlenebilirliği açısından bir düzene sahip olmadığı görülmektedir. Öncelikle 2014, 2015, 2016 ve 2017 yılı raporlarında İstanbul lokasyonunda oluşan atık verilerine yer verilirken, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı raporlarında İstanbul ve yurt içi lokasyonlarında oluşan atık verilerine yer verilmiştir. Ancak bu verilerin THY’nin tüm operasyonları ve lokasyonları dahilinde oluşup oluşmadığı anlaşılmamaktadır.

Metal ambalaj atıklarına dair veri sadece 2014 yılı raporunda yer almakta olup sonraki yıllara ait raporlarda metal ambalaj bahsi söz konusu değildir.

Geri dönüşüme gönderilen ambalaj atıkları verileri incelendiğinde rakamları yorumlamak oldukça zordur. 2015 yılında 503 ton olan ambalaj atığı miktarı 2016 yılında 18 tona düşmekte, 2017 yılında 26 ton olurken 2018 yılında 258 tona çıkmaktadır. 2019 ve 2020 yıllarında pandemi kaynaklı bir düşüş görülmekte olup 2021 yılında 53,5 ton rakamına ulaşılmıştır. Raporlarda ambalaj atıklarını arttırmaya yönelik hedefler konulurken hedefler ile ulaşılan değerler arasındaki orantısızlık dikkat çekicidir. Örneğin 2017 yılında geri dönüşüme gönderilen ambalaj atık miktarı 26 ton olarak gerçekleşmiş ve 2018 yılı için %20 artış hedeflenmiştir. 2018 yılında geri dönüşüme gönderilen ambalaj atık miktarı 258 ton (artış oranı %900) olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılı raporunda 2019 yılı için hedef belirtilmezken 2019 yılından sonra ambalaj atık miktarında her yıl düşüş görülmüştür.

Geri dönüşüme gönderilen tehlikesiz atık miktarları incelendiğinde de beyan edilen rakamlar

arasında bir keskin iniş çıkışlar olduğu görülmektedir.

Raporlarda beyan edilen tehlikeli atık miktarları incelendiğinde artış ve azalışlarda bir eğilim gerçekleşmediği ve hedefler ile gerçekleşen sonuçlar arasında herhangi bir tutarlılık olmadığı görülmektedir. Örneğin 2017 yılı raporunda tehlikeli atık miktarı 99 ton olarak beyan edilmiş ve 2018 yılı için **%20 azaltım** (yaklaşık 80 tona indirilmesi) hedefi konulmuştur. 2018 yılı raporunda tehlikeli atık miktarı 115 ton olarak beyan edilmiş ve 2019 yılı için **%10 azaltım** (yaklaşık 103 tona indirilmesi) hedeflenmiştir. Ancak 2019 yılı raporunda tehlikeli atık miktarı 153 ton olarak gerçekleşmiş ve 2020 yılı için **%10 azaltım** hedeflenmiştir. Hedeflere yaklaşılamamak ile birlikte sonuçlar yüksek çıktığı için bir sonraki yıl hedefleri önceki yılların çok üzerinde olmaktadır. 2019 yılında tehlikeli atık miktarında Covid 19 nedeniyle yüksek oranda bir düşüş görülürken, 2020 yılında tehlikeli atık miktarının bir önceki yıla göre 3 kat arttığı görülmektedir.

Dolayısıyla THY sürdürülebilirlik raporlarında yer alan atık yönetimi başlığı altında bahsi geçen çok sayıda proje göz doldurmak ile birlikte performans verileri incelendiğinde atık yönetiminde sistematik bir yaklaşım elde edilemediği görülmektedir.

Gürültü Yönetimi

THY sürdürülebilirlik raporlarının tamamında yeni nesil uçakların hem karbon emisyonunu azaltmaya hem de gürültü azaltmaya katkı sunacağını belirtmektedir. THY çevre politikasında da gürültü emisyonunu azaltmak için filo yaşının düşürülmesi, böylelikle de yeni nesil uçaklara geçilmesi hedefi yer almaktadır. Ancak Tablo 7’de de görüldüğü gibi filo yaşı 2015 yılı dışında her yıl artış göstermiştir.

THY sürdürülebilirlik raporlarının tamamında filo yaşının düşürülmesi ile gürültü seviyesinin de azaltılacağı belirtilmekte ve “havalimanlarında iniş ve kalkışlarda gürültü ölçümleri yapılarak gürültü seviyesi limitlerine uyum sağlandığı” ibaresine yer verilmektedir. 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılı raporlarının tamamında da filo modernizasyonu başlığı altında belirtilen yıllar için “%20 daha az çevresel gürültü sağlanmıştır” cümlesi aynı şekilde yer almaktadır. Her yıl aynı oranda gürültü azaltımının sağlanabilmiş olması ve raporun hiçbir bölümünde gürültüye ilişkin başka bir sayısal veriye yer verilmemesi dikkat çekicidir.

Sosyal

THY sürdürülebilirlik raporlarının tamamı incelenerek **sosyal** başlığının alt başlıklarındaki değişim Tablo 9’da gösterilmiştir. Tablo 9’da özetlendiği gibi 2014-2019 yılları raporlarında alt başlıklar benzerlik gösterirken 2020 yılı raporunda kısmi değişiklikler yapılmış, 2021 yılı raporunda güvenilir operatör ve adil işveren ana başlıkları altında daha kapsamlı değişiklikler yapılmıştır.

Tablo 9. Sosyal

	2014	2015	2016	2017 – 2018 - 2019	2020 (Dünya için başlığı altında)	2021 (Güvenilir operatör ve adil işveren başlıkları altında)
4. SOSYAL	<u>Uçuş emniyeti ve güvenliği</u>		<u>Kurumsal Emniyeti</u>	<u>Kurumsal Emniyeti</u>	Uçuş emniyeti	<u>Güvenilir Operatör</u>
	- Emniyet ve yönetim sistemi organizasyonu ve yönetimi		- Emniyet ve yönetim sistemi organizasyonu ve yönetimi	- Uçuş emniyeti		<u>Uçuş emniyeti ve güvenliği</u>
	- Sms standartları ve kurallar		- Sms standartları ve kurallar			- Uçuş emniyeti
	- Emniyet kültürü		- Eğitimler			- Emniyet risk yönetimi
	- Eğitimler		- Emniyet kültürü			- Emniyet denetimi
	- Emniyet performansı		- Emniyet bildirimleri			- Uçuş güvenliği
	- Mevcut emniyet süreçleri ve raporlamaları		- Emniyet performansı			<u>Çalışan sağlığı ve güvenliği</u>
	- Emniyet yönetim sistemi ile ilgili denetimler ve çalışmalar		- Yatırımlar ve gelecek planları			- İş sağlığı ve iş güvenliği performansı
	- Yatırımlar ve gelecek planları		- Emniyet yönetim sistemi ile ilgili			- İş sağlığı ve iş güvenliği

	denetimler			eğitimleri
<u>Güvenli seyahat deneyimini pekiştirmek</u>	<u>Uçuş Güvenliği</u>	<u>Uçuş Güvenliği</u>	Uçuş güvenliği	- Covid 19 tedbirleri
- Güvenlik yönetim sistemi organizasyonu ve yönetimi	- Güvenlik Yönetim Sistemi	- Güvenlik politikamız	Mevzuata uyum	- İş devamlılığı
- Güvenlik politikası	- Organizasyonu ve Yönetimi			- İnovasyon, Ar-Ge ve Dijital dönüşüm
- Güvenlik eğitimi	- Güvenlik politikası			
- Güvenlik iletişimi	- Güvenlik iletişimi			
- Hedefler ve Aksiyonlar	- Hedefler ve Aksiyonlar			
<u>Müşterilerimiz</u>	<u>Müşteriler</u>	<u>Müşterilerimiz</u>	<u>Müşteri memnuniyeti</u>	<u>Müşteri memnuniyeti</u>
- Yenilikçi yaklaşımımız	- Yenilikçi yaklaşımımız	- Yenilikçi yaklaşımımız	- Yolcularımızla diyalog	- Müşteri beklentilerine yanıt verilmesi
- Müşteri memnuniyeti politikası	- Yolcu Memnuniyeti Politikası	- Yolcularımızla diyalog	- Müşteri memnuniyeti ölçümü ve anketleri	- Müşteri memnuniyeti değerlendirmeleri
- Müşterilerle diyalog	- Yolcularımızla diyalog	- Sürdürülebilir ikram servisi		
- Yenilikçi ve Sürdürülebilir Ürün ve Hizmetler	- Yolcularımızla diyalog	- Uçak içi sürdürülebilirlik uygulamalarımız		
- Müşteri Bilgileri ve Hakları	- Sürdürülebilir ikram servisi	- Müşteri bilgileri ve hakları	Müşteri bilgileri ve gizliliği	
- Erişilebilirlik	- Müşteri bilgileri ve hakları	- Erişilebilirlik	Ürün ve hizmetlere erişim	
<u>Çalışanlar</u>	<u>Çalışanlar</u>	<u>Çalışanlarımız</u>	<u>Çalışan ve yönetim ilişkileri</u>	<u>Adil İşveren</u>
- En büyük varlığımız: insan sermayesi	- En büyük varlığımız: insan sermayesi	- En büyük varlığımız: çalışanlarımız	- Örgütlenme ve toplu sözleşme hakkı	<u>Kadın-erkek çalışan dengesi</u>
- Performans yönetimi ve kariyer gelişimi	- Performans yönetimi ve kariyer gelişimi	- Performans yönetimi ve kariyer gelişimi	- İnovasyon kültürünün geliştirilmesi ve çalışan katılımının teşvik edilmesi	- Kadın istihdamına destek
- Şirket içi iletişim ve çalışan bağlılığı	- Çalışan memnuniyeti	- Çalışan bağlılığı ve memnuniyeti	- Çalışan bağlılığı ve memnuniyeti	- Engelli istihdamına destek
- Çalışan memnuniyeti	- Çalışan memnuniyeti	- Çeşitlilik ve fırsat eşitliği	- Çalışan deneyiminin geliştirilmesi	- İnsan ve çalışan hakları
- Çeşitlilik ve fırsat eşitliği	- Çeşitlilik ve fırsat Eşitliği	- Örgütlenme ve toplu sözleşme hakkı		- İş ve özel yaşam dengesi
- Örgütlenme ve toplu sözleşme hakkı	- Örgütlenme ve toplu sözleşme hakkı	- Eğitim		- Adil ücretlendirme
- İş sağlığı ve güvenliği ve esenlik	- İş sağlığı ve güvenliği ve esneklik	- İş sağlığı ve güvenliği ve esneklik		
- Eğitim	- Eğitim			
			<u>Çeşitlilik ve cinsiyet eşitliği</u>	<u>Yetenek yönetimi</u>
			<u>Kariyer gelişimi</u>	- Kariyer gelişimi
			<u>Eğitim</u>	- THY Havacılık akademisi
			<u>Topluma değer katmak</u>	- Uçuş eğitim merkezi
			<u>İnsan hakları ile ilgili çalışmalarımız</u>	- Çalışan deneyiminin geliştirilmesi
				- Çalışan devamlılığı
				- Çalışan gönüllülüğü
Sosyal Sorumluluk	Sosyal Sorumluluk			

Uçuş Emniyeti

2014-2020 yılı raporlarının tamamında THY'nin 2006 yılından bu yana Emniyet Yönetim Sistemi'ne sahip olduğu ve standartların ötesine geçilerek her türlü operasyonel seviyede emniyet ile ilgili sürekli iyileştirme çalışmalarının yürütüldüğü belirtilmiştir. 2018 yılında çalışanlara daha sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturmak, müşterileri en yüksek emniyet standartlarını sunmak ve bu şartları sürdürülebilir hale getirmek amacıyla Emniyet Yönetim Sistemi ile bütünlük olarak Bitkinlik Risk Yönetim Sistemi kurulmuştur.

Emniyet performansını ölçebilmek amacıyla Emniyet Performans Göstergeleri (SPI) geliştirilmiş ve bu göstergeler ile Genelleştirilmiş Emniyet Endeksi (GSI), emniyet seviyesini yansıtan en önemli gösterge olarak tanımlanmıştır. Tablo 10'da THY'nin raporlarında sunduğu emniyet göstergeleri sunulmuştur.

Tablo 10. Emniyet performansı verileri

Emniyet performansı göstergesi	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Uçak kazası sayısı (adet)	--	--	--	--	0	0	0	0
Havacılık emniyeti düzenlemelerinin resmi yaptırım eylemlerinin sayısı (adet)	--	--	--	--	0	0	0	0
Emniyet konulu raporlama performansı (Adet)	--	--	1979	2478	2.200	2.063	3.760	5577
Genelleştirilmiş Emniyet Endeksi (GSI) (adet)	86,2	86,7	87,1	88,6	88,7	88,2	90,6	--
SAFA oranı *(oran)	0,87	0,252	0,25	0,16	0,215	0,177	0,318	0,054
SAFA EASA (Avrupa Hava Emniyet Ajansı) ülkeleri ortalaması	--	--	0,52	0,51	0,48	0,43	0,48	--

* Yabancı Hava Aracı Emniyet Denetim Programı (SAFA/Safety Assessment of Foreign Aircraft), Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı'nın (EASA) öncülüğünde yürütülen bir emniyet denetim programıdır. SAFA denetiminin amacı, uçuş öncesi ve sonrasında kokpitin, kabinin, kargo kompartımanlarının ve uçağın genel durumunun emniyet açısından değerlendirilerek, uçuş ekibi, uçak dokümanları ve uçağın teknik durumunun, ulusal ve uluslararası regülasyonlar ile emniyete doğrudan ya da dolaylı olarak etkisi olabilecek tüm kurallar çerçevesinde kontrolden geçirilmesiyle uçuş emniyetini olumsuz etkileyebilecek her türlü etmenin tespit edilip çözülmesini ve uçuşa elverişliliği sağlamaktır.

Tablo 10'da görüldüğü gibi her yıl yayınlanan raporlarda emniyet performansı başlığı altında yer alan veriler istikrarlı sunulmamıştır. Uçak kazası sayısı ve havacılık emniyeti düzenlemelerinin resmi yaptırım eylemlerinin sayısı 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı raporlarında sıfır (0) olarak belirtilirken diğer yıllarda bu bilgilere değinilmemiştir. Emniyet konulu raporlama performansı verisi 2020 ve 2021 yıllarında geriye dönük 2016 yılını da kapsayacak şekilde verilmiş olup Tablo 10'a aktarılmıştır. Ancak 2019 yılı raporunda da 2014-2019 yılları arasındaki emniyet konulu raporlama sayıları sunulmuş olup bu sayılar 2020 ve 2021 yılı raporlarındaki sayılarla uyumluluk göstermemektedir (2016: 9.189, 2017: 11.638, 2018: 10.869, 2019: 10.047). 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılı raporlarında emniyet raporlamalarına ilişkin aylardaki değişimi gösteren grafikler sunulmuş olmak ile birlikte bu grafiklerden yıllık net rakamlara ulaşılamamaktadır. 2014 yılı raporunda emniyet raporlaması ile ilgili sayısal bir bilgiye ulaşılamamıştır.

Genelleştirilmiş Emniyet Endeksi (GSI) verisi 2021 yılı raporu dışında tüm raporlarda net bir biçimde sunulmuş olup yıllar içerisinde istikrarlı bir artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. SAFA oranı da tüm raporlarda eksiksiz olarak belirtilmiş olup SAFA oranının yıllar içerisinde artış ve azalış gösterdiği, istikrarlı bir azalma sağlanamadığı görülmektedir.

Uçuş Güvenliği

THY sürdürülebilirlik raporlarında uçuş güvenliği başlığı altında THY Güvenlik Yönetim Sistemi uygulamalarına yer verilmektedir. 2014-2021 yılları arasında Güvenlik Politikası değiştirilmeden raporda yer almış, 2020 ve 2021 yılı raporlarında bahsi geçmemiştir.

Önceki yılların hiç birinde yer almayıp 2021 yılı raporunda yer alan yeni bir bilgi **Uçuş Güvenliği Farkındalık Çalışması** kapsamında yürütülen eğitimlerdir. 2021 yılı raporunda 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılı verilerini içeren bir tablo ile sunulan eğitim bilgileri Tablo 11'de gösterilmiştir. Ancak önceki yıllara ait raporlarda böyle bir faaliyet mevcut iken bu rakamların neden sunulmadığı merak uyandırıcıdır.

Tablo 11. Uçuş Güvenliği Eğitimleri

Uçuş güvenliği eğitimleri	2018	2019	2020	2021
Katılımcı sayısı	10.890	12.226	13.595	13.300
- Kokpit ekibi	932	1.476	2.620	936
- Kabin ekibi	2.634	2.992	2.528	2.432

- Diğer çalışanlar	7.324	7.758	8.447	9.932
Eğitim süresi (kişi*saat)	16.463	27.144	15.472	22.503
Kişi başı eğitim saati (Yazar tarafından eklenmiştir)	1,51	2,22	1,13	1,69

Tablo 11’de yer alan, diğer yıllarda sunulmayan ancak 2021 yılı raporunda yer alan uçuş güvenliği eğitim verileri incelenmiş ve son satırda sunulan kişi başı eğitim saati hesaplanmıştır. Kişi başı eğitim saati 2018 yılında 1,51 saat, 2019 yılında 2,22 saat olup, 2020 yılında düşerek 1,13 saat, 2021 yılında 1,69 saat olarak belirtilmiştir. Genel anlamda havacılık endüstrisi için en kritik konulardan biri olan güvenlik kapsamında kişi başı 1-2 saat eğitimin yeterli olup olmadığı sektör uzmanları açısından değerlendirilmesi gereken bir konudur.

Mevzuata Uyum

Mevzuata uyum başlığı sadece 2020 yılı raporunda yer almış, THY’nin kanun ve düzenlemelere bağlı olmanın ötesinde tüm karar ve eylemlerinde etik kuralların yansıtıldığı belirtilmiştir.

Çalışan Sağlığı ve Güvenliği

Çalışan sağlığı ve güvenliği başlığı ilk olarak 2020 raporunda insan için başlığı altında yer alırken, 2021 yılı raporunda güvenilir operatör başlığı altında yer almıştır. 2020 ve 2021 raporlarında yer alan veriler birleştirilerek 2018-2021 yılı çalışan sağlığı ve güvenliği verileri Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği

Çalışan sağlığı ve güvenliği	2018	2019	2020	2021
Kaza sıklık oranı	8,6	12,69	4,57	7,82
İSG eğitimi verilen personel sayısı	--	14.951	20.563	153.579
Acil durum tatbikat sayısı	17	58	8	97
Saha gözetimi sayısı	--	426	204	632
Hekimlik faaliyeti sayısı	157.016	161.992	125.326	117.699
İş kazası sonucu ölüm	0	0	0	0
Meslek hastalığı vaka adeti	0	0	0	0

Tablo 12’de görüldüğü üzere kaza sıklık oranları yıllar içerisinde artış ve azalışlar göstermektedir. İSG eğitimi verilen personel sayısı yıllar içerisinde artış göstermiş, özellikle 2021 yılında bir önceki yıla kıyasla neredeyse sekiz kat artmıştır. Acil durum tatbikat sayısı, saha gözetim sayısı ve hekimlik faaliyeti sayısı yıllar içerisinde düzensiz bir artış / azalış eğilimindedir. Tablo’da ayrıca 2018-2021 yılları arasında iş kazası sonucu ölüm ve meslek hastalığı vakası yaşanmadığı görülmektedir.

İş Devamlılığı

İş devamlılığı başlığı ilk olarak 2021 yılı raporunda yer almış ve sürekli uçuşa elverişlilik olarak tanımlanmıştır. THY Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü onayı ile Sürekli Uçuşa Elverişlilik ve Bakım Kuruluşu olarak sertifikalandırılmış, böylelikle ticari filosundaki uçaklar için Türkiye’de uçuşa elverişlilik gözden geçirme yetkisi alan ilk firma olmuştur.

İnovasyon, Ar-Ge ve Dijital Dönüşüm

İnovasyon başlığı, 2020 yılı raporunda *insan* için başlığı altında, 2019 yılı raporunda *sürdürülebilir yönetim* başlığı altında, 2017 ve 2018 yılı raporunda *sosyal* ana başlığına bağlı *çalışanlarımız* başlığı altında yer almaktadır. 2016, 2015 ve 2014 yılı raporlarında konuya değinilmemiştir. 2017 yılı raporunda çalışanların yaratıcı potansiyellerinin aktif hale getirilmesi amacıyla “bireysel öneri sistemi”nin devreye

alındığı ve inovasyon kültürünü yaygınlaştırmak için “fikirden inovasyona” eğitimlerine başlandığı belirtilmiştir. 2018 ve 2019 yılı raporlarında gerçekleştirilen inovasyon faaliyetlerine benzer biçimde değinilirken, 2020 yılında “inovasyon ve girişimcilik” birlikte ele alınmış ve yürütülen faaliyetlere değinilmiştir. 2021 yılı raporunda İnovasyon ve Ar-Ge faaliyetlerine değinilirken, “dijital dönüşüm”de ayrı bir başlık olarak işlenmiş bu kapsamda yapılan çalışmalara değinilmiştir. Raporlar doğrultusunda THY’nin inovasyon kapsamında sunduğu veriler Tablo 13’de özetlenmiştir.

Tablo 13. *İnovasyon ve Ar-Ge*

Öneri Sistemi Verileri	2017	2018	2019	2020	2021
Öneri paylaşan çalışan sayısı (kişi)	5.475	6.268	4.316	7.144	507
Çalışandan gelen öneri sayısı (adet)	11.686	16.716	21.995	24.259	25.129
Öneri paylaşan kişi başı öneri sayısı (adet) (Yazar)		2,7	5,1	3,4	49,6
Hayata geçirilen öneri sayısı (adet)	--	659	1.100	1.225	1.227
Önerilerle sağlanan finansal fayda (milyon USD)	--	55	132	163	185
Ar-Ge Faaliyet Verileri		2018	2019	2020	2021
Ar-Ge çalışan sayısı (kişi)		666	752	719	829
Ar-Ge harcamaları (USD)		11.800.612	7.691.853	8.857.844	3.012.839
Ar-Ge proje sayısı (adet)		33	49	40	20
Geliştirilen yeni ürün ve hizmet sayısı (adet)		53	10	6	6

THY 2020 yılı sürdürülebilirlik raporundan faydalanılarak Tablo 13’de yer alan öneri sistemi ve Ar-Ge faaliyet verileri sunulmuştur. Ancak 2019 yılı raporu incelendiğinde iki farklı bölümde farklı veriler sunulduğu görülmektedir. Metin içerisinde sunulan veriler Tablo 13 ile uyurken, görsel ile sunulan veriler tutarsızlık göstermektedir. 2019 yılı raporunda Sayfa 93’de görselde sunulan verilere göre; öneri paylaşan çalışan sayısı: 4.316, öneri sayısı: 5.280, hayata geçen öneri: 441, sağlanan finansal fayda: 77 milyon dolar olarak belirtilmektedir.

Öneri sistemi verileri doğrultusunda öneri paylaşan çalışan başına öneri sayısı incelendiğinde, 2018 yılında öneri sunan kişi başına 2,7 olan öneri sayısının 2021 yılında 49,6’ya çıktığı görülmektedir. Öneri paylaşan kişi sayısı bir önceki yıla kıyasla 14’de birine düşerken, öneri sunan kişi başına düşen öneri sayısı neredeyse 18 kat artmıştır. Bu durum sunulan rakamların güvenilirliği konusunda tereddüt yaratmaktadır.

Ar-Ge faaliyet verileri incelendiğinde Ar-Ge çalışan sayısı ve harcamalarının yıllar içerisinde arttığı ancak proje sayısı ve geliştirilen yeni ürün ve hizmet sayısının azaldığı görülmektedir. İnovasyon ve Ar-Ge kapsamında sunulan verilerin işletme bünyesinde analiz edilmesi önerilmektedir.

Müşteriler

THY çok sayıda dış hat noktasına düzenlediği seferler ile farklı milletten yolculara hizmet sunmaktadır. Müşteri güven ve memnuniyetini arttırmak doğrultusunda yürüttüğü çalışmalar nedeniyle birçok ödül alan THY, 2015 yılında TSE ISO 10002 Uluslararası Müşteri Memnuniyeti Yönetim Standardı Sertifikası’nı almıştır. Sürdürülebilirlik raporlarında sunulan müşteriler ile ilgili veriler Tablo 14’de sunulmuştur.

Tablo 14. *Müşteri Verileri*

Müşteri verileri	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Müşteri memnuniyet oranı	70	78,1	78,35	79	79	75	77	83
Müşteri şikayetlerine geri dönüş oranı	%30	%55	%70	%69	%78	--	--	--
Müşteri şikayetlerine geri dönüş süresi	--	--	--	--	7 gün	5,8 gün	4,93 gün	4,3 gün
Kayıp bagaj oranı (binde)	5,4	8,6	5,9	5,1	5,2	5	3,9	3,7
Zamanında kalkış oranı (yüzde)	--	--	--	--	--	81	90	84,3

Tablo 14’de görüldüğü gibi müşteri memnuniyeti oranı yıllar içerisinde artış eğilimi göstermiştir. Müşteri şikayetlerine geri dönüş oranı 2014-2018 yılları arasında artmış ancak 2019, 2020 ve 2021 yıllarında bu veriye değinilmemiştir. Müşteri şikayetlerine geri dönüş süresine ilişkin 2014-2017 yıllarında veri sunulmamış, 2018-2021 yıllarına ilişkin sunulan verilere göre sürede düşüş sağlanmıştır. Havaacılık sektöründe müşteri memnuniyeti açısından önemli bir kriter olan kayıp bagaj oranının yıllar içerisinde yeni teknolojilerin de kullanılması ile birlikte azaldığı görülmektedir. Zamanında kalkış oranına ilişkin 2014-2018 yılları arasında bir veriye rastlanmazken, 2019-2021 yıllarına ait sunulan verilerde 2020 yılında hızlı bir yükselme sağlandığı ancak 2021 yılında zamanında kalkış oranının düştüğü görülmektedir.

THY sürdürülebilirlik raporlarında hava yolu ulaşımına erişebilirliği arttırmak kapsamında birçok proje yürütüldüğüne değinilmektedir. 2007 yılından bu yana uçuş korkusu yenme programı düzenlenmiş ve 2020 yılı itibariyle 1091 kişi bu programdan faydalanmıştır. İştme engelli yolcularla daha iyi iletişim için kabin personeline işaret dili eğitimleri verilmiştir. “Farklılıklar değer katar” programı kapsamında 2015-2021 yılları arasında engellilerin havalimanına ulaşımını, havalimanı içerisindeki dolaşımını, uçağa giriş ve yerleşme sürecinin kolaylaştırılmasını sağlamak amacıyla birçok proje hayata geçirilmiştir.

Çalışanlar

Çalışanlara ilişkin veriler; 2014, 2015 ve 2016 yılı raporlarında *çalışanlar*, 2017, 2018 ve 2019 yılı raporlarında *çalışanlarımız*, 2020 yılı raporunda **Dünya için** başlığı altında *çalışan ve yönetim ilişkileri*, 2021 yılı raporunda *adil işveren* başlığı altında yer almıştır. Konu kapsamında raporlardan elde edilen veriler Tablo 15’de sunulmuştur.

Tablo 15. Çalışan Verileri

Çalışan verileri	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Toplam personel sayısı	19.990	22.030	24.124	24.074	26.739	29.491	28.668	27.532
- Kadın yüzdesi	46	46	48	47	46	46	46	46
- Erkek yüzdesi	54	54	52	53	54	54	54	54
Engelli çalışan sayısı	165	169	195	202	217	235	230	212
Çalışan başına düşen eğitim saati	--	13	10	12	13	13,94	18,5	--
Çalışan memnuniyet oranı (yüzde)	76,2	76	76	78	66	82	85	--
Kaza sıklık oranı (1.000.000 çalışma saati bazında)	20,18	52,54	28,62	7,71	8,60	12,69	4,57	7,82

Tablo 15’de görüldüğü gibi THY toplam çalışan sayısı ve engelli çalışan sayısı 2019 yılına kadar artış eğilimi göstermiş, 2020 ve 2021 yıllarında düşüş eğilimine girmiştir. Kadın ve erkek çalışan oranları yıllar içerisinde büyük bir değişim göstermemiştir. Çalışan memnuniyet oranı 2014-2017 yılları arasında %76-78 oranında gerçekleşirken, 2018 yılında %66’ya düşmüştür. 2019 yılında %82’ye çıkan çalışan memnuniyeti, 2020 yılında %85 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2021 yılında çalışan memnuniyet oranı belirtilmemiştir. Son olarak kaza sıklık oranları incelendiğinde yıllar içerisinde istikrarsız bir görünüm elde edildiği görülmektedir.

Tablo 15’de sunulan verilerin yanında raporda çalışanlar ile ilgili farklı bilgiler de sunulmuştur. THY bünyesinde faaliyet gösteren Havaacılık Akademisi ve Uçuş Eğitim Merkezi, sektörde önemli bir eğitim merkezi olarak yer almıştır. THY, çalışanlarda fırsat eşitliği, yetenek yönetimi, kariyer geliştirme ve deneyim geliştirme konularında birçok çalışma yürütmektedir.

2014, 2015, 2016 yılı raporlarında sosyal sorumluluk başlığı yer almış diğer yıllarda bu başlık altında yer alan bilgiler diğer konu başlıklarının ilgili yerlerinde sunulmuştur.

SONUÇ ve ÖNERİLER

İklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha fazla hissedildiği günümüz şartlarında sürdürülebilirlik kavramı yaşamın merkezinde yer alması gereken bir önemdedir. Küresel ekonominin önemli bir parçası olan ve hızla büyüyen havacılık endüstrisi de ekonomik, sosyal ve çevresel olumlu/olumsuz etkileriyle sürdürülebilirlik konusunda önemli bir sorumluluğa sahiptir. Konunun önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada Türkiye'nin bayrak taşıyıcı havayolu işletmesi ve küresel bir marka olan Türk Hava Yolları Ortaklığının 2014-2021 yılları arasında yayınlamış olduğu sürdürülebilirlik raporlarının içerik analizi yöntemi ile incelenmesi hedeflenmiştir.

THY sürdürülebilirlik raporlarının incelenmesi neticesinde raporda yer alan göstergelerin net olmadığı görülmüştür. Bu bulgu Hooper & Greenall (2005) tarafından havayolu endüstrisinde çevresel raporlama uygulamalarının incelendiği çalışma ile paralellik göstermektedir. Chen & Lin (2009) tarafından gerçekleştirilen ve iki hava yolu işletmesinin sosyal sorumluluk raporlarının incelendiği çalışmada da raporların ve içeriklerinin farklılığı nedeniyle karşılaştırma yapılamadığı belirtilmiş ve havacılık sektörü için standart bir çerçeveye ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da THY sürdürülebilirlik raporlarının yıllar içerisinde hem genel çerçevede hem de içerikte farklılıklar gösterdiği ve verilerin hem tutarsızlıklar içerdiği hem de izlenebilirliğin sağlanamadığı görülmüştür. Bu değerlendirme Battal (2018) tarafından hayata geçirilen Türk Hava Yolları sürdürülebilirlik raporu ve Güney Afrika Havayolları entegre raporlarını inceleyerek karşılaştırdığı çalışmada sunulan bulgular ile de örtüşmektedir. Battal (2018), çalışmanın sonuç bölümünde THY'nin sürdürülebilirlik raporlarını içerik ve nitelik ilkeleri bağlamında iyileştirmesi gerektiğini belirtmiştir.

Güney & Dinler (2021), THY'nin 2018 ve 2019 yılı sürdürülebilirlik raporlarını değerlendirildiği çalışmada THY'nin raporlarında farklı sayfalarda birçok konuya ilişkin bilgiler yer almasına rağmen bazı göstergelerin yer almadığını belirlemiş ve bu göstergelerin gelecek yıllarda yayınlanacak raporlara eklenerek firmanın şeffaflığının gelişmesine katkı sunulmasını önermişlerdir. Bu çalışmada da genel kanı raporlamanın güvenilirlik, şeffaflık, izlenebilirlik ve denetlenebilirlik ilkeleri doğrultusunda geliştirilerek tüm paydaşlara örnek olacak şekilde yayınlanmasıdır. Unutulmamalıdır ki THY sürdürülebilirlik uygulamalarıyla sektöre örnek teşkil edecek öncü kuruluş konumundadır.

Raporların inceleme sonucu uygulama bölümünde sunulan veriler doğrultusunda elde edilen en çarpıcı bulgular ve öneriler şöyledir:

- Ekonomi başlığı altında yer alan bilgiler genel olarak incelendiğinde en önemli problemin sektör ve THY özelindeki verilerin karmaşık bir biçimde raporda yer almasıdır. Örneğin, “*Sektörün Türkiye GSYİH'sına katkısı*” ve “*Sektörünün Türkiye turizmine katkısı*” başlıklarının yanında THY'nin belirtilen bağlamlardaki katkılarının sunulması önerilmektedir.
- *İklim Değişikliği* başlığında hem yakıt verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması hem de gürültü emisyonunu azaltmak amacıyla en gelişmiş ve çevre dostu uçaklara yatırım yapıldığı belirtilerek, filo yaşının düşürüleceği hedefine yer verilmiştir. Filo yaşı verileri incelendiğinde 2014 yılında 7,2 olan filo yaşının 2015 yılında 6,9'a düşürüldüğü, ancak ilerleyen yıllarda her yıl artış yaşanarak 2021 yılında 8,5'e yükseldiği dikkat çekmektedir.
- 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılı raporlarının tamamında *filo modernizasyonu* başlığı altında belirtilen yıllar için “%20 daha az çevresel gürültü sağlanmıştır” cümlesi aynı şekilde yer almaktadır. Her yıl aynı oranda gürültü azaltımının sağlanabilmiş olması ve raporun hiçbir bölümünde gürültüye ilişkin başka bir sayısal veriye yer verilmemesi dikkat çekicidir.
- *Geri dönüşüme gönderilen ambalaj atıkları ve geri dönüşüme giden atık miktarları* verileri incelendiğinde izlenebilirlik açısından bir düzene sahip olmadığı görülmektedir. Raporlarda ambalaj atıklarını arttırmaya yönelik hedefler konulurken hedefler ile ulaşılan değerler arasındaki orantısızlık dikkat çekicidir. Örneğin, 2017 yılında geri dönüşüme gönderilen ambalaj atık miktarı

26 ton olarak gerçekleşmiş ve 2018 yılı için %20 artış hedeflenmiştir. 2018 yılında geri dönüşüme gönderilen ambalaj atık miktarı 258 ton (artış oranı %900) olarak gerçekleşmiştir.

- Raporlarda beyan edilen *tehlikeli atık miktarları* incelendiğinde artış ve azalışlarda bir eğilim gerçekleşmediği ve hedefler ile gerçekleşen sonuçlar arasında tutarsızlık olduğu görülmektedir.
- THY sürdürülebilirlik raporlarında yer alan *atık yönetimi* başlığı altında bahsi geçen çok sayıda proje göz doldurmak ile birlikte performans verileri incelendiğinde atık yönetiminde sistematik bir yaklaşım elde edilemediği ve tatmin edici sonuçlara ulaşılamadığı görülmektedir.
- Her yıl yayınlanan raporlarda *emniyet performansı* başlığı altında yer alan veriler istikrarlı ve tutarlı olarak sunulmamıştır. Farklı yıllara ait raporlarda sunulan veriler arasında tutarsızlıklar mevcuttur.
- *Çalışan Sağlığı ve Güvenliği verileri incelendiğinde* kaza sıklık oranları yıllar içerisinde artış ve azalışlar göstermektedir. İSG eğitimi verilen personel sayısı yıllar içerisinde artış göstermiş, özellikle 2021 yılında bir önceki yıla kıyasla neredeyse *sekiz kat* artmıştır.
- *İnovasyon, Ar-Ge ve Dijital Dönüşüm* başlığı altında yer alan *öneri sistemi* verileri doğrultusunda öneri paylaşan çalışan başına öneri sayısı incelendiğinde 2018 yılında 2,7 olan öneri sayısının, 2021 yılında 49,6'ya çıktığı görülmektedir. Öneri paylaşan kişi sayısı bir önceki yıla kıyasla 14'de bire düşerken, öneri sunan kişi başına düşen öneri sayısı neredeyse 18 kat artmıştır.
- *Ar-Ge faaliyet* verileri incelendiğinde Ar-Ge çalışan sayısı ve harcamalarının yıllar içerisinde arttığı ancak proje sayısı ve geliştirilen yeni ürün ve hizmet sayısının azaldığı görülmektedir. İnovasyon ve Ar-Ge kapsamında sunulan verilerin işletme bünyesinde analiz edilmesi önerilmektedir.
- *Müşteri memnuniyeti* oranı yıllar içerisinde artış eğilimi göstermiştir. Müşteri şikayetlerine geri dönüş oranı 2014-2018 yılları arasında artmış ancak 2019, 2020 ve 2021 yıllarında bu veriye değinilmemiştir. Müşteri şikayetlerine geri dönüş süresine ilişkin 2014-2017 yıllarında veri sunulmamış, 2018-2021 yıllarına ilişkin sunulan verilere göre sürede düşüş sağlanmıştır. İzlenebilirliği sağlamak amacıyla her raporda verilerin eksiksiz sunulması önemlidir.
- THY toplam çalışan sayısı ve engelli çalışan sayısı 2019 yılına kadar artış eğilimi göstermiş, 2020 ve 2021 yıllarında düşüş göstermiştir. Kadın ve erkek çalışan oranları yıllar içerisinde büyük bir değişim göstermemiştir. *Çalışan memnuniyet oranı* 2014-2017 yılları arasında %76-78 oranında gerçekleşirken, 2018 yılında %66'ya düşmüştür. 2019 yılında %82'ye çıkan çalışan memnuniyeti, 2020 yılında %85 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2021 yılında çalışan memnuniyet oranı belirtilmemiştir.
- Son olarak *kaza sıklık oranları* incelendiğinde, yıllar içerisinde istikrarsız bir görünüm elde edildiği görülmektedir

Bu çalışmanın en önemli kısıtı, tekli durum analizi uygulanmış olması ve sürdürülebilirlik raporlarının THY özelinde değerlendirilmesidir. Gelecek çalışmalarda çoklu durum analizi ile sektördeki farklı kurumların sürdürülebilirlik raporlarının incelenerek karşılaştırılması ve sektöre özel sürdürülebilirlik göstergelerinin oluşturulması önerilmektedir.

REFERENCES

- Akandere, G. (2020). Sosyal sürdürülebilirlik açısından tedarik zinciri yönetiminde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (44), 63-72.
- Akçay, S., & Şengül, H., (2023). A study on environmental literacy of middle school students. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi (AKEF)*, 5(1), 139-169.
- Akgül, U. (2010). Sürdürülebilir kalkınma: Uygulamalı antropolojinin eylem alanı. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Antropoloji Dergisi*, 24, 135-159.

- Aksungur, N., & Firidan, Ş. (2008). Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik. *Aquaculture Studies*, 2008(2), 9-11.
- Alagöz, M. (2004). Sürdürülebilir kalkınmanın paradigması. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4(8), 1-23.
- Bali, S. & Yaylı, G. (2019). Karbon vergisinin Türkiye'de uygulanabilirliği 1. *Third Sector Social Economic Review*, 54(1), 302-319.
- Battal, Ü. (2018). Sürdürülebilirlik raporlaması ve entegre raporlama: Türk Hava Yolları ve Güney Afrika Hava Yolları incelemesi. *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 11(3), 393-424.
- Boiral, O., Heras-Saizarbitoria, I., & Brotherton, M. C. (2019). Assessing and improving the quality of sustainability reports: The auditors' perspective. *Journal of Business Ethics*, 155, 703-721.
- Chen, F., & Lin, Y. (2009). Corporate social responsibility initiatives of major Asian Airlines. *ICEB 2009 Proceedings (Macau, SAR China)*, 80.
- Chousa, J. P., & Castro, N. R. (2006). Integrating sustainability into traditional financial analysis. *Sustainability accounting and reporting*, 83-108. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Dalgakıran, A. (2018). Havalimanı yönetimi ve sürdürülebilirlik. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 88-109.
- Dikmen, Ç. B., & Savcı, (2015). Sürdürülebilir yapı tasarımı kapsamında çevre dostu yeşil çatı uygulamalarının irdelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, 28(30), 214-220.
- Duran, B. (2018). *Sürdürülebilirlik kavramının önemi karşılaşılan sorunlar ve şirketlerin sürdürülebilirlik raporlarının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ertan, Y. (2018). Türkiye'de sürdürülebilirlik raporlaması (2005-2017). *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 11(3), 463-478.
- Galpin, T., & Lee Whittington, J. (2012). Sustainability leadership: From strategy to results. *Journal of Business Strategy*, 33(4), 40-48.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- Gökbulut, N. (2019). *Türkiye'deki havalimanlarının sürdürülebilirlik uygulamalarının AHP yöntemi ile değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ulaştırma ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Gökdalay, M. H., & Evren, G. (2011). Havaalanlarının performans analizinde bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımı. *İTÜDERGİSİ/d*, 8(6).
- Gümrah, A., & Büyükepeççi, S. (2019). Türkiye'de sürdürülebilirlik raporlaması: 2008-2017 yılları arası yayınlanmış sürdürülebilirlik raporlarının incelenmesi, *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 21(2), 305-323.
- Güney, S., & Dinler, S. (2021). Sustainability Reports Frames & GRI-Specific Standard Disclosures Series: Evaluation of the Turkish Airlines 2018-2019 Sustainability Reports. *Anadolu University Journal of Faculty of Economics*, 3(2), 100-118.
- Hooper, P. D., & Greenall, A. (2005). Exploring the potential for environmental performance benchmarking in the airline sector. *Benchmarking: An International Journal*, 12(2), 151-165.
- Kakşa, G. N., & Soyca, S. Y. (2022). Havacılık öğrencilerinin istihdam umudu düzeylerinin incelenmesi, *Asrel Aerospace Research Letters*, 1(2), 113-124.
- Kerr, I. R. (2006). Leadership strategies for sustainable SME operation. *Business Strategy and the Environment*, 15(1), 30-39.
- Kılıç, M., Uyar, A., & Karaman, A. S. (2019). What impacts sustainability reporting in the global aviation industry? An institutional perspective. *Transport Policy*, 79, 54-65.
- Kımillı, Z. M. (2006). *Depreme Duyarlı Bölgelerde Sürdürülebilir Mimari Tasarım; Isparta/Mavikent*

- Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Köşker, Z., & Güner, A. (2020). Sürdürülebilirlik çerçevesinde yeşil örgüt kültürü. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 6(1), 88-109.
- Kuzey, C., & Uyar, A. (2017). Determinants of sustainability reporting and its impact on firm value: Evidence from the emerging market of Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 143, 27-39.
- Maxwell, J. A. (1996). *Qualitative Research Design: An Interactive Approach*. California: SAGE Publications.
- Oto, N., (2011), *Çevresel Sürdürülebilirlik ve Havaalanları: Esenboğa Havalimanı Örneği* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Özçağ, M., & Hotunluoğlu, H. (2015). Kalkınma anlayışında yeni bir boyut: Yeşil ekonomi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 303-324.
- Özdemir, M. (2010). Nitel veri analizi: Sosyal bilimlerde yöntem bilim sorunsalı üzerine bir çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 323-343.
- Özdeş, E. (2019). *Asırlık Aile İşletmelerinin Sürdürülebilirlik Sürecinin İşleyişi Üzerine Bir Araştırma* (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Palabıyık, H. (2001), *Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Polat, F., Aydın, K., & Aktaş, T. C. (2022). Yeni nesil havalimanı tasarımı, *Asrel Aerospace Research Letters*, 1(1), 61-68.
- SHGM (2010), *Havaalanlarında Çevresel Etkiler*, <http://www.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/hadt11.pdf>, Erişim: 19.07.2023
- Sloan, K., Klingenberg, B., & Rider, C. (2013). Towards sustainability: Examining the drivers and change process within SMEs. *J. Mgmt. & Sustainability*, 3, 19.
- <https://www.semtrio.com/blog/surdurulebilirlik-raporu-nasil-hazirlanir>, Erişim: 17.07.2023
- Şen, H., Kaya, A., & Alpaslan, B. (2018). Sürdürülebilirlik üzerine tarihsel ve güncel bir perspektif. *Ekonomik Yaklaşım*, 29(107), 1-47.
- Şevkay, I., & Bayburtlu, İ. (2020). Sürdürülebilirlik bağlamında inovatif yaklaşımlar ve modüler giyim tasarımı. *Yıldız Journal Of Art And Design*, 7(2), 150-176.
- Torelli, R., Balluchi, F., & Furlotti, K. (2020). The materiality assessment and stakeholder engagement: A content analysis of sustainability reports. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(2), 470-484.
- Torum, O., & Yılmaz, A. K. (2009). Havacılıkta sürdürülebilirlik yönetimi: Türkiye'deki hava limanları için sürdürülebilirlik uygulamaları araştırması. *Journal Of Aeronautics And Space Technologies*, 4(2), 47-58.
- Üçgül, İ. (2015). Sürdürülebilirlik için yenilenebilirlik. *SDÜ Yekarum*, 3(1).
- Walcott, H. F. (1994). *Transforming qualitative data: Description, analysis and interpretation*. London: SAGE Publications.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2003). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Seçkin Yayınları, Ankara.
- Yılmaz, E., & Bayrak Oğuz, R. (2020). Türkiye'deki konaklama işletmelerine ait sürdürülebilirlik raporlarının GRI raporlama standartlarıyla karşılaştırmalı analizi. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 7(54), 1381-1405.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). Los Angeles, CA: SAGE.

Zieba, M., & Johansson, E. (2022). Sustainability reporting in the airline industry: Current literature and future research avenues. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103133.

EXTENDED ABSTRACT

Sustainability is a concept that aims to transfer existing resources to future generations while protecting human and environmental health (Şevkay & Bayburtlu, 2020: 150-179) and focuses on the human factor. The requirements of the concept of sustainability must be understood and implemented by both public and private sector organisations, and this brings with it the concept of corporate sustainability. Businesses should assess the economic, environmental, and social impacts of their activities and implement improvements. However, these efforts should be carried out to a certain standard, and this is where sustainability reports become an necessary tool. Sustainability reports are an important means by which companies can communicate their non-financial performance and impacts (positive or negative) to their stakeholders in a transparent and traceable manner (Zieba & Johansson, 2022: 1) and can be used to develop strategies.

The aviation sector in Turkey, as in the rest of the world, is experiencing significant growth and its impact on sustainability is being discussed. These discussions involve all stakeholders in the sector, from aircraft manufacturers to airline operators, and are critical to the sustainability of the aviation industry. Considering the industry's contribution to global growth and environmental impact, it is reasonable to expect it to be at the forefront of sustainability discussions (Hooper & Greenall, 2005: 156). Given the environmentally unsustainable nature of the industry and the issues related to sustainability reporting, it is important to understand how airlines implement sustainability reporting and identify areas for improvement. However, in the aviation sector, which is a significant contributor to global warming, sustainability reporting in the academic literature has been delayed and insufficient (Zieba & Johansson, 2022: 1).

Considering the importance of the subject, this study aims to investigate the sustainability efforts of Turkish Airlines (THY), Turkey's flag carrier airline and a global brand. In this context, it is aimed to examine the sustainability reports published by THY between 2014 and 2021 with the content analysis method and to analyse the indicators and practices in the reports over the years. Thus, it is aimed to contribute to the literature and practice within the scope of sustainability reports with a focus of the airline industry.

As a result of the analysis, it has been observed that THY's sustainability reports have varied both in general framework and content over the years, and the data contain inconsistencies and lack of traceability. The general opinion formed within the scope of the content analysis is that the reporting should be developed in line with the principles of reliability, transparency, traceability, and auditability and published in a way that sets an example for all stakeholders. It should not be forgotten that THY is a pioneering organisation that sets an example for the sector with its sustainability practices.

The main limitation of this study is that a single case analysis was applied and sustainability reports were evaluated specifically for Turkish Airlines. In future studies, it is suggested that sustainability reports of different organisations in the sector should be analysed and compared through multiple case analysis and sector-specific sustainability indicators should be developed.

Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi

Şerafettin ÇETİN¹ Hakan Burak KARADAĞ²

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye
serafettinncetinn@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-6685-4303>

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya, Türkiye
hbkaradag@erbakan.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0003-1045-7277>

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 23.11.2023

Kabul: 24.12.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Darbe Hasar Analizi,
Düşük Hızlı Darbe Deneyi,
Tabakalı Kompozit Malzeme,
Çelik Tel Takviye.

Bu çalışmada, hava araçları ve diğer ulaşım araçlarında iç yapısal malzeme olarak kullanılabilen bir sandviç panel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sandviç panelin özü, takviyesiz ve üç sıralı çelik tel takviyeli olacak şekilde saf EVA pestillerinin 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilmesiyle elde edilmiştir. Bu özlerin alt ve üst yüzeylerine 0,5 mm kalınlığında 5457 kalite alüminyum levhalar poliüretan yapıştırıcı ile yapıştırılarak kompozit panel elde edilmiştir. Sandviç panellere muhtelif seviyelerde (20J, 30J, 40J ve 50J) darbe testi yapılmıştır. Deneyler sonrasında numunelerin, farklı enerji değerlerine karşılık gelen kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Tel takviyesi arttıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı gözlemlenmiştir.

Investigation of Impact Resistance of Laminated Composites

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 23.11.2023

Accepted: 24.12.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

Impact Damage Analysis,
Laminated composite materials,
Low Velocity Impact Experiment,
Steel Wire Reinforcement.

In this study, a sandwich panel that can be used as an internal structural material in aircraft and other transportation vehicles has been produced. The core of this sandwich panel was obtained by baking neat EVA sheets without reinforcement and with three rows of steel wire reinforcement at 180 °C for 30 minutes. On the upper and lower surfaces of these cores, 0.5 mm thick 5457 aluminum sheets were adhered with polyurethane adhesive and thus composite panels were obtained. The sandwich panels were subjected to impact tests at various levels (20J, 30J, 40J and 50J). After the tests, force-time and force-displacement graphs of the specimens corresponding to different energy values were obtained. It was observed that as the wire reinforcement increases, the elasticity of the material decreases and the strength of the material increases, and accordingly, the maximum displacement generally decreases.

Atıf/Citation: Çetin, Ş., & Karadağ, H. B. (2023). Tabakalı kompozitlerin darbe direncinin incelenmesi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 114-127. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.5>

* Bu çalışma Şerafettin ÇETİN'in Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapmış olduğu "Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi" isimli yüksek lisans tezinden türetilmiş olup aynı zamanda Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 201319008 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte insanların ihtiyaçları da hızlı bir şekilde artmakta ve dünyadaki kaynakları tüketmektedir. Bundan dolayı bilim insanları sağlam, hafif, ucuz, mukavemetli ve ekonomik malzemelerin üretilmesi için çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Böylece değişik özellikleri içinde barındıran ve iki veya daha fazla malzemenin özel tekniklerle fiziksel olarak birleştirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin önemi artmıştır. Kompozit malzemeler savunma, enerji, havacılık ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan malzemelerdir.

Malzemeler mühendislik uygulamalarında ve servis şartlarında birtakım darbelere maruz kalabilirler. Malzemelerden bu beklenmedik darbelere karşı uygun cevabı vermesi istenir. Malzemeler uygulama alanlarına ve kullanım amacına göre farklı darbe şekillerine maruz kalabilirler. Darbeler hızlarına göre düşük, orta ve yüksek hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı araştırmacılar düşük hızlı darbeyi 2 ile 10 m/s aralığında değişen hızlar olarak değerlendirmişlerdir (Albayrak & Kaman, 2019).

Malzemelerin darbeye karşı dirençleri değişkenlik göstermektedir. Metal ve alaşımlarında darbe sonucunda darbe yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelirken kompozitlerde çarpmanın türüne göre yüzey bölgelerinde hasar meydana gelebilir. Metallerin aksine kompozit malzemeler darbeyi absorbe ederek hasarı bünyelerinde depolayabilirler. Kompozit malzemelerde oluşan hasarlar her zaman gözle görülmeyebilir. Malzemede fiber hasarı, delaminasyon, nüfuziyet ve matris çatlağı gibi hasar türleri ile oluşabilmektedir.

Ümran ve Ali Yasin, cam elyaf düzlem kompozitlerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında parametre olarak iki farklı darbe enerjisi ve iki farklı kalınlık kullanmışlardır. 2 ve 4 mm kalınlıklarındaki kompozit plakalar 8 ve 16 katmandan oluşmaktadır. Darbe testleri 20J ve 60J enerji seviyelerinde yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda 8 tabakalı numunelerde 20J darbe enerjisinde delinmenin oluşmadığını, 60J darbe enerjisinde delinme hasarının meydana geldiğini, 16 tabakalı numunelerde ise iki darbe enerjisinde de delinme hasarının oluşmadığını gözlemlemişlerdir (Esendemir & Caner, 2017).

Öndürücü ve Karacan farklı oryantasyona sahip cam elyaf/epoksi kompozit numunelerin farklı darbe enerji seviyelerindeki darbe davranışlarını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda artan darbe enerjisi ile maksimum kuvvet ve deplasyon miktarı değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir (Öndürücü & Karacan, 2018).

Kompozit yapılara nanoelyaf katkısının özellikle tabakalı kompozitlerde tabakalar arası mukavemeti artırdığı bilinmektedir (Uyaner & Yar, 2019).

Aktaş ve çalışma ekibi, E-cam/epoksi kompozit malzemelerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Bu kompozitlerde gözlenen hasar türleri matris çatlağı ile fiber hasarıdır (Aktaş vd., 2009).

Baucom ve Zikry, tekrarlı yapılan darbe yükleme koşulları altında kompozit levhalarda cam elyaf takviye geometrisinin hasar ilerlemesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarda 2D kumaş, 3D kumaş ve çift eksenli güçlendirilmiş kumaş kompozitleri kullanılmıştır. 3D kompozitlerin, penetrasyona karşı maksimum dirence sahip olduğunu ve bunun 3D kompozitlerdeki kıvrımlı kısımdan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Baucom & Zikry, 2005).

Abdullah ve Cantwell dokuma cam elyaf takviyeli polipropilen ve alüminyum alaşımından oluşan fiber metal laminatların yüksek hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Darbelenen numunelerde enerjinin alüminyum tabakaların plastik deformasyonu ve kırılması ile kompozit tabakalarda ise delaminasyon, matris deformasyonu ve lif kırılması yoluyla absorbe edildiğini belirtmişlerdir (Abdullah & Cantwell, 2006).

Eğilme rijitliğinin yüksek olması nedeniyle bal peteği veya köpük özlü sandviç yapılar yapısal malzeme olarak çokça kullanılmaktadır. Köpük dolgululu bal peteği özlü sandviç yapı üretimi güncel konular

arasındadır (Atalay Kalsen vd., 2023). Yeni üretilen bu yapının düşük hızlı darbe direncinin yüksek olması beklenmektedir.

Düşük hızlı darbenin deneysel çalışmaları kadar analitik ve sayısal analizi de çok önemlidir. Bu konudaki güncel çalışmalara Ömer ve diğerlerinin kompozit yapının sanal testi (Şişkolar vd., 2022) ile Tolunay ve arkadaşlarının düşük hızlı darbe simülasyonu (Dağ vd., 2022) verilebilir.

Bu çalışmada, 90x90x15 mm boyutlarındaki deney numuneleri 15 mm kalınlığındaki çelik kalıp içerisinde 180 °C sıcaklıkta ve 30 dakika pişirme ile üretilmiştir. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır. Deney numuneleri dört farklı konfigürasyonda üretilmiştir. Herbir kenarından sabitlenen numunelere dört farklı hızda düşük hızlı darbeler uygulanmıştır. Düşük hızlı darbe deneylerinde ağırlıklı olarak kuvvetin zamana göre ve sehime göre değişimleri elde edilmektedir. Çalışmada tasarlanıp üretimi gerçekleştirilen bu tabakalı kompozit malzemelerin gerek hava-uzay araçlarında ve gerekse yüksek hızlı raylı taşımacılık sektörü gibi birçok alanda içyapı malzemesi olarak kullanılabilmesi düşünülmüştür.

YÖNTEM

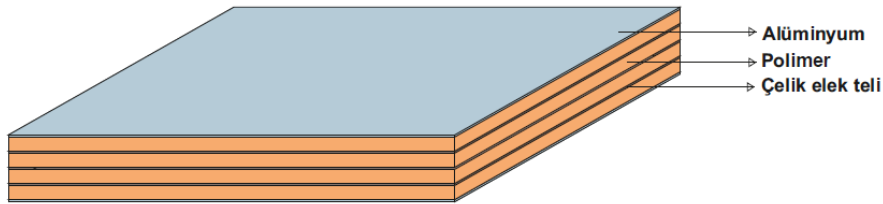
Kompozit malzeme üretim aşamaları alüminyum plakaların, polimer levhaların ve çelik elek telinin boyutları $10 \times 10 \pm 0,50$ mm olacak şekilde kesilmesiyle başlamıştır. Kesimi yapılan malzemeler 15 mm kalınlığındaki $10 \times 10 \pm 0,80$ mm boyutlarındaki kalıba belirlenen parametrelere göre dizilmiştir.

Oluşturulan numune alt ve üst plakası olan ısıtıcıya konularak 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilmiştir. Isıtıcı plakaların başlangıç sıcaklıkları 180 °C olacak şekilde ısıtılmıştır. Pişirme sırasında hacmi sınırlandırmak için pişirici üzerine ağırlık konulmuştur. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır.

Numuneler dizilimleri dört farklı yapıda olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 1. Numune Dizilim Sıraları (P: Polimer, T: Tel)

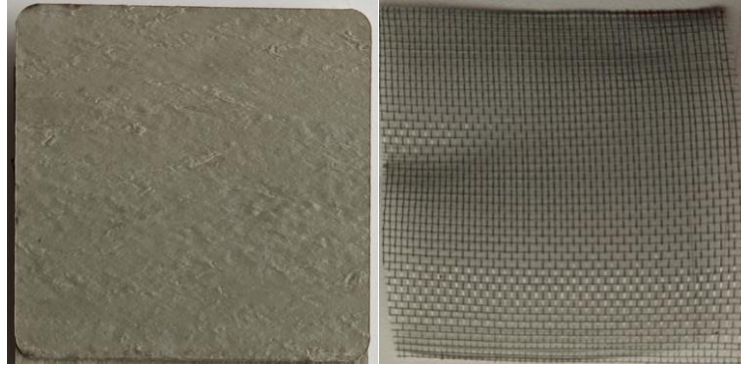
Numune Adı	Dizilim
T0	Al - P - P - P - P - Al
T1	Al - P - P - T - P - P - Al
T2	Al - P - T - P - P - T - P - Al
T3	Al - P - T - P - T - P - T - P - Al



Şekil 1. T3 tabakalı kompozit

Şekil 1.'de T3 çelik tel takviyeli tabakalı kompozit malzeme şematik olarak gösterilmiştir.

Matris malzemesi olarak levha şeklinde olan EVA polimer (Şekil 2a) malzemesi kullanılmıştır. EVA, etilen ile vinil asetatın kopolimeridir. Yapıda vinil asetat ağırlıkça %10 ile %40 arasında değişirken geri kalan kısım etilendir. Yapıda vinil asetat miktarı arttıkça yoğunluk, darbe dayanımı, yırtılma dayanımı ve elastik özelliği artmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 2. (a) Polimer matris malzemesi ve (b) Çelik elek teli

Numunelerde takviye elemanı olarak AISI 1008 kalite malzemeden üretilen çelik elek teli kullanılmıştır (Şekil 2b). Tel kalınlığı 0,20 mm, ara ölçüleri ise 1,50 x 1,50 mm'dir.

Al levha olarak 5754 kalite 0,50 mm 5000 serisi alüminyum levha kullanılmıştır. Çizelge 2, bu levhaların kimyasal içeriklerini göstermektedir.

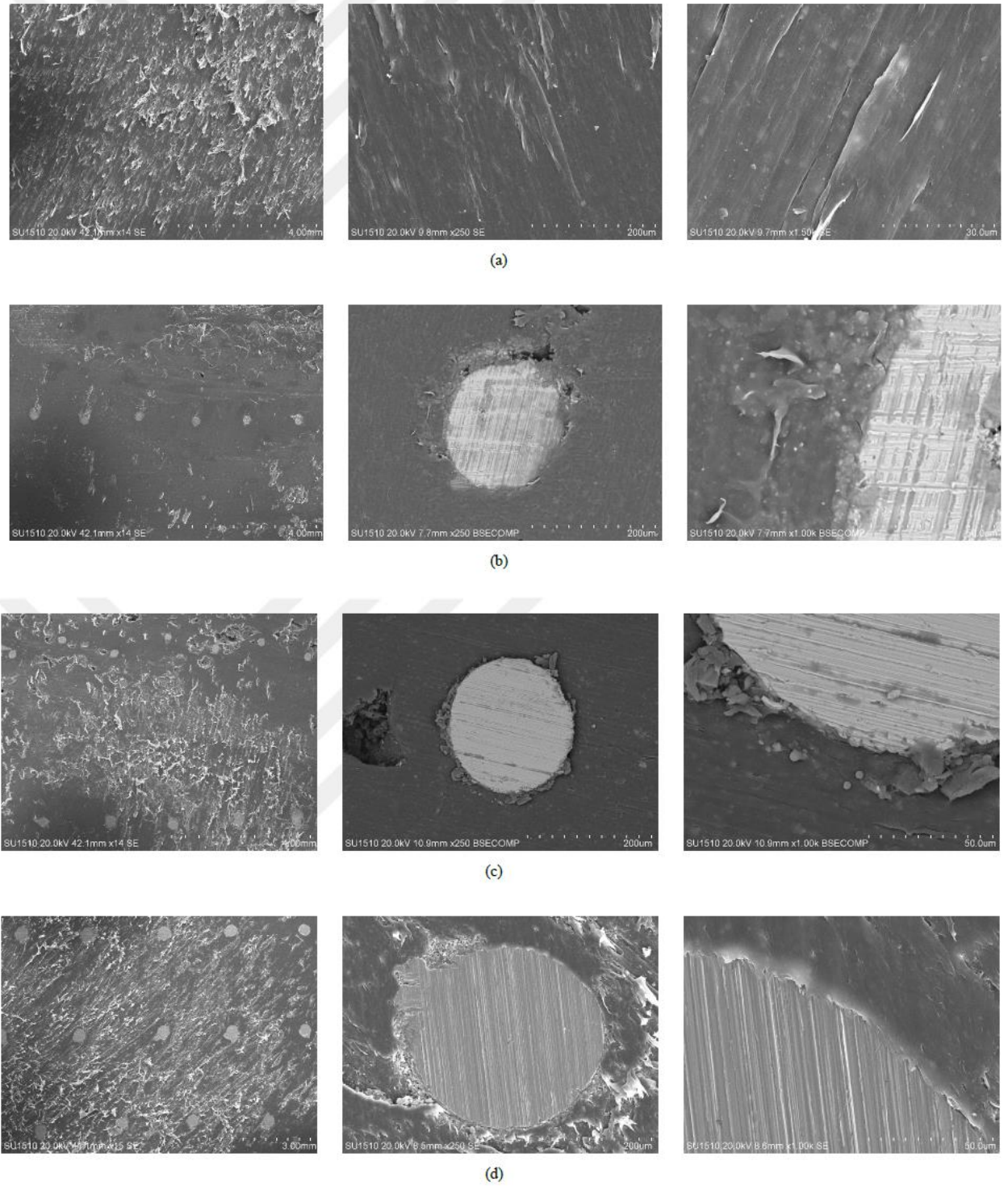
Çizelge 2. 5754 Al Levha Kimyasal Bileşimi

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
5754 Al levha	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

SEM görüntüleri

Üretilen numunelerden 1 cm x 1 cm 'lik parçalar alınarak elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Polimer matris malzeme yalıtkan özellik gösterdiği için altın kaplama yapılarak iletkenlik kazandırılmıştır. Bu incelemeler, NEÜ BİTAM'da gerçekleştirilmiştir. Dört farklı grup halinde üretilen numunelerin mikro yapıları ve çelik tel ile polimer arasındaki yapı incelenmiştir. Numuneler sırası ile 15, 250 ve 1500 büyütme ile gözlemlenerek analiz edilmiştir.

Şekil 3. (a)'da T0 takviyesiz numunesi matris polimeri lifli yapısı görülmektedir. Şekil 3. (b)'de T1 (1 tabaka tel takviyeli) matris polimeri lifli yapısını korumakla birlikte matris malzemenin çelik tel etrafını sarmış ve malzemenin dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum Şekil 3.(c)'de gösterilen T2 ve Şekil 3.(d) T3 için de geçerlidir. Beton malzeme ile çelik filmaşınlar arasında mekanik bağ vardır. Bu bağ olmasa filmaşınlar beton içinden çıkar ve betonun dayanımını yitirir. Üretmiş olduğumuz malzemelerde de aynı durum söz konusudur. Bu durumda da tel yapının içinden çıkarıldığı zaman malzemenin mukavemetinde azalma olacaktır. Üretilen malzemede de aynı şekilde polimer ile çelik elek teli arasında mekanik bağ oluşmaktadır. Bu durum da yapının dayanımını artıracaktır.



Şekil 3. T0 (a), T1 (b), T2 (c) ve T3 (d) tabakalı kompozit malzemelerin SEM analiz görüntüleri

Kompozit malzeme polimer sertlik ölçümü

Üretilen numune düz bir şekilde ortadan ikiye bölünerek ASTM D 2240 Shore A metodu ile sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Shore A yumuşak lastikler ve plastiklerin sertlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Çizelge 3. Pişirilmiş Kompozit Polimer Sertlik Ölçüm Çizelgesi

Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ortalama Değer	Standart Sapma
1	2	3	4	5	6	7	8	86,875	1,8851
86	87	87	88	88	90	84	85		

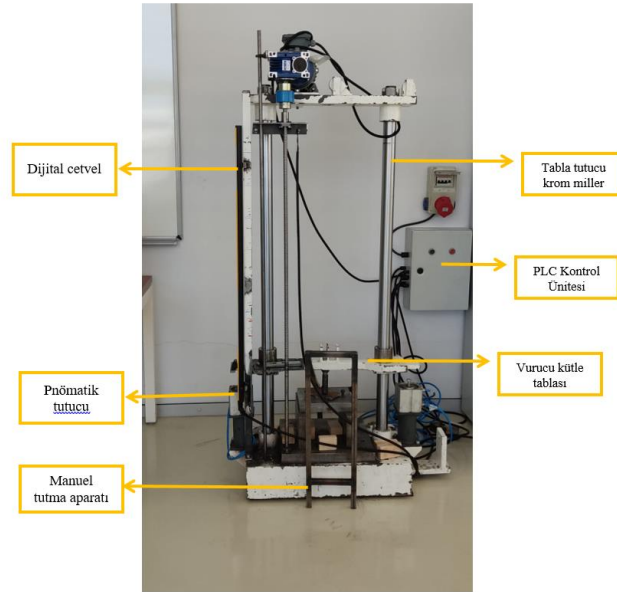
Shore A sertlik verilerine göre (Çizelge 3) ortalama Shore sertlik değeri 86,875, standart sapma ise 1,8851 olarak hesaplanmıştır.

Düşük hızlı darbe testi

Kompozit malzemelerde 0-1-2-3 adet takviye elemanı olacak şekilde dört farklı konfigürasyon oluşturulmuş ve dört farklı darbe hızında (1,53 m/s, 1,88 m/s, 2,17 m/s, 2,43 m/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Vurucunun hangi yükseklikten bırakılacağı Denklem (1) yardımıyla hesap edilmiştir.

$$E_p = m.g.h \quad (1.)$$

Şekil 4'te görülen düşük hızlı darbe deneyi NEÜ-BİTAM Malzeme Laboratuvarında bulunmaktadır. Bu cihaz ile çarpma olayının tamamında temas kuvveti algılanmakta ve bir bilgisayara aktarılmaktadır.



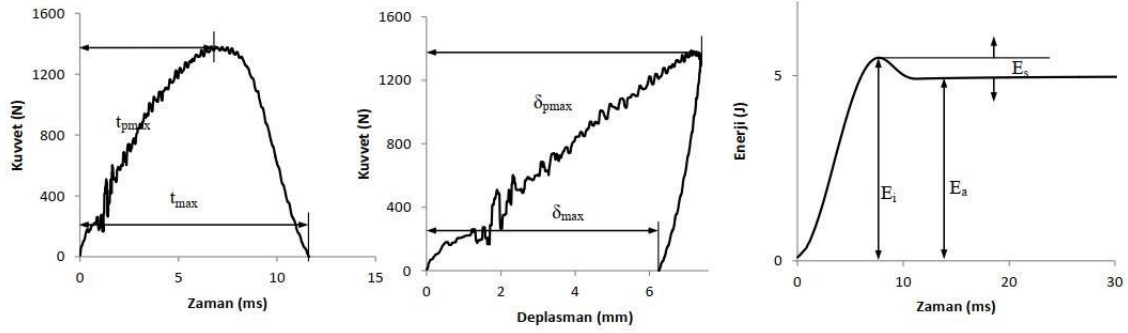
Şekil 4. Test düzeneği

Vurucu kütlesi 17 kg olup 1000 mm 'den serbest olarak düşebilmektedir. Vurucunun istenilen mesafeden bırakılabilmesi için mıknatıslı kilit mekanizması vardır. Düşük hızlı darbe düzeneğinin en büyük serbest düşme teorik hızı 4,4 m/s'dir. Vurucu kütesinin sürtünmesini azaltmak ve daha stabil bir serbest düşme sağlamak için rulmanlı yatak sistemi kullanılmıştır. Vurucu kütesinin dengeli çalışabilmesi için taşıyıcı tabla iki adet krom kaplı mile bağlanarak monte edilmiştir.

Düşük hızlı darbe deneyleri dört tarafı ankastre olan bir kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıp açıklığı 90x90 mm'dir. Merkezi çarpmanın temini için alt kalıp işaretlenmiş ve her numune aynı alana konulmuştur. Bağlama aparatının montajı vurucunun numunelerin merkezine darbe yapacak şekilde yapılmıştır.

10 mm çaplı yarı küresel uçlu vurucu deneyler yapılmış olup her bir numunenin merkezine darbe yapılacak şekilde uygulanmıştır. Serbest düşmeden sonra vurucu ilk darbeyi yapar ve tekrarlı darbeleri engellemek için darbe tutucu aparat ile darbe tekrarlanması engellenmiş olur. Darbenin başlangıcından itibaren sonuna kadar sensör tarafından okunan bütün veriler veri toplama kartı üzerinden bilgisayara

aktarılmıştır. Bu verilerin kinematik analizleri, Prof. Dr. Mesut Uyaner tarafından literatüre kazandırılan Test To Graph (Uyaner, 2021) programı ile yapılmıştır. İşlenmiş verilerden de kuvvet zaman ile kuvvet deplasman değişimleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Düşük hızlı darbe olayında temel karakteristikler (Engin, 2011)

Şekil 5, düşük hızlı darbe olayının tipik karakteristikleri göstermektedir. Bu karakteristikler;

t_{pmax} , en büyük kuvvetin gerçekleştiği zaman

t_{max} , çarpma olayı için geçen toplam süre,

δ_{pmax} , en büyük çökme,

δ_{max} , numunedeki kalıcı yerdeğiştirme,

E_i , çarpma enerjisi,

E_a , soğurulan enerji,

E_s , ise sekme enerjisidir (Engin, 2011).

BULGULAR

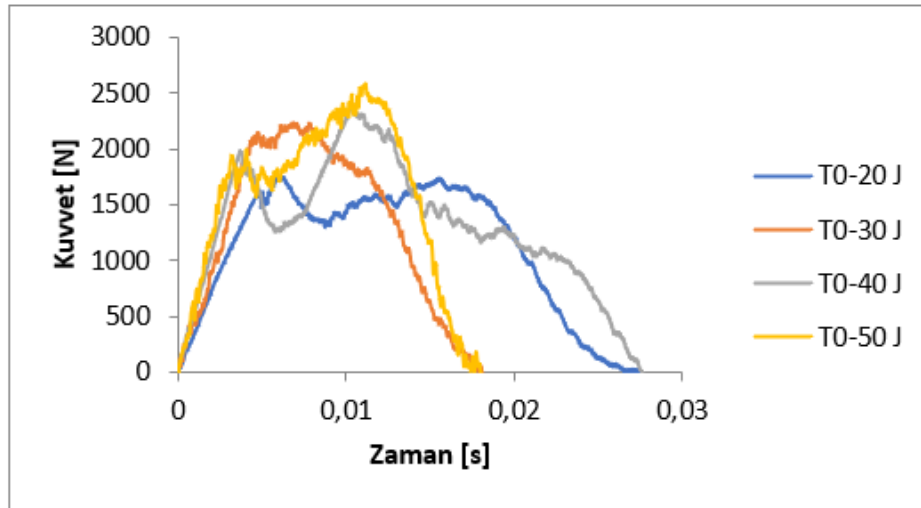
180 °C 'de 30 dakika pişirilerek çelik tel takviyesiz ve çelik tel takviyesi yapılarak üretilen tabakalı kompozit malzemeler 20 J, 30 J, 40 J ve 50 J darbe enerjilerine maruz bırakılmışlardır. Numunelere bir kez vuruş yapılmıştır.

Düşük hızlı darbe testlerinde sıklıkla kullanılan kuvvet deplasman grafikleri malzemenin darbeye verdiği cevap ve hasarları değerlendirme konusunda bilgi vermektedir. Kuvvet deplasman grafikleri genellikle kapalı grafik ve açık grafik olarak ikiye ayrılmaktadır (Engin, 2011). Genellikle kapalı eğriler numunenin delinmeyerek vurucunun rebound yaptığı hasar durumlarını temsil ederken açık eğriler ise delinmenin (perforasyon) veya delinme eşiğindeki ve saplanmanın (penetrasyona) olduğu hasar durumlarını temsil eder.

Çizelge 4. Bu çalışmada elde edilen temel karakteristikler

Numune Grubu	E_i (J)	F_{max} (N)	t_{pmax} (s)	t_{max} (s)	δ_{pmax} (mm)	δ_{max} (mm)
T0	20J	1758,65	0,0060	0,0275	0,0085	0,0143
	30J	2229,27	0,0069	0,0181	0,0115	0,0200
	40J	2386,15	0,0104	0,0188	0,0277	0,0275
	50J	2591,04	0,0111	0,0180	0,0219	0,0283
T1	20J	2427,76	0,0082	0,0207	0,0104	0,0115
	30J	2398,96	0,0139	0,0254	0,0178	0,0171
	40J	2098,01	0,0086	0,0182	0,0153	0,0236
	50J	3314,59	0,0038	0,0177	0,0089	0,0242
T2	20J	2213,27	0,0084	0,0141	0,0108	0,0142
	30J	2290,10	0,0059	0,0175	0,0103	0,0205
	40J	2827,96	0,0084	0,0238	0,0162	0,0224
	50J	2722,31	0,0057	0,0183	0,0131	0,0289
T3	20J	2744,72	0,0107	0,0180	0,0130	0,0139
	30J	2424,56	0,0090	0,0209	0,0142	0,0186
	40J	2805,55	0,0053	0,0205	0,0107	0,0233
	50J	3625,14	0,0085	0,0234	0,0170	0,0199

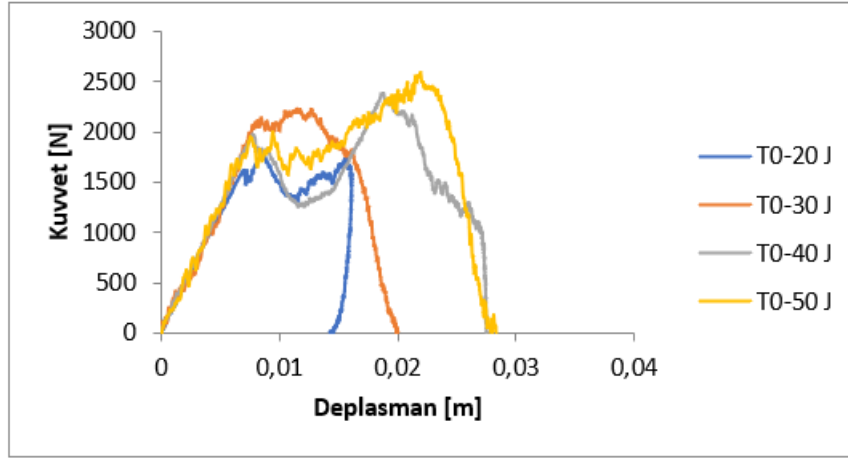
Çarpma olayının kuvvet-zaman ve kuvvet-çökme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler ve darbelenen numunelerin alt, üst ve kesit görünümleri kullanılarak malzemenin darbe süresince verdiği tepkinin değişimi incelenmiştir.



Şekil 6. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için kuvvet zamanla değişimi

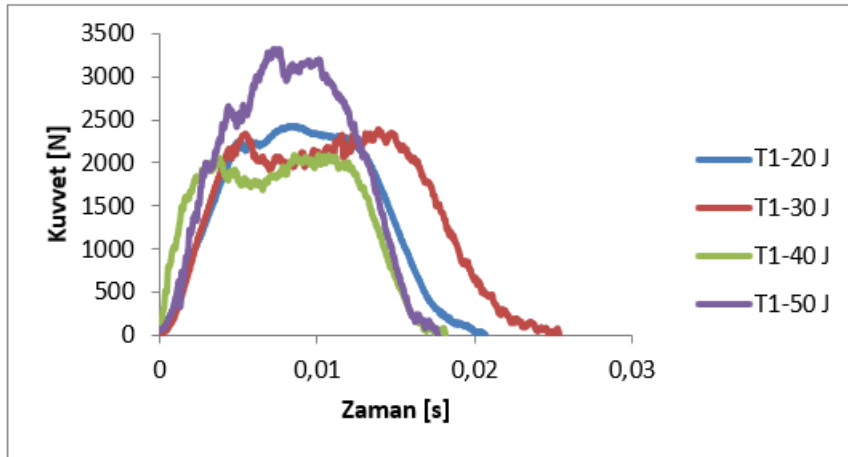
Şekil 6.'da T0 (Takviyesiz) numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigurasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. Takviyesiz numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin

uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 1758,65, 2229,27, 2386,15, 2591,04 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



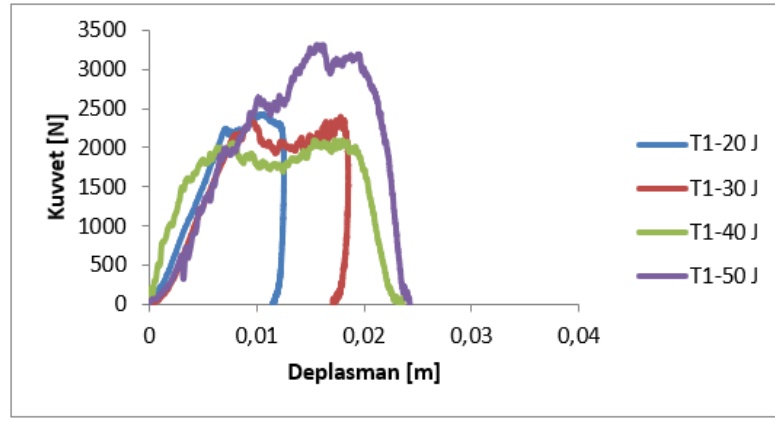
Şekil 7. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 7’de T0 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T0 numunede maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0143 mm, 0,0200 mm, 0,0275 mm, 0,0283 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Eğriler incelendiğinde 20 J enerjide geri sekme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde nüfuziyet olmuştur. Çünkü 20 J enerjide maksimum çökmeden sonra geri dönme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde geri dönmeyi temsil eden bir kısım yoktur. Bu noktalardaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır (Engin, 2011).



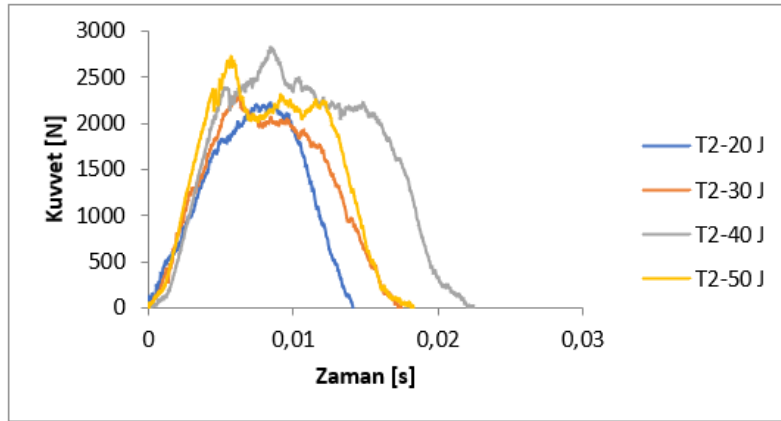
Şekil 8. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği

Şekil 8.’de T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda 20J ve 30J darbe enerjilerinde kısmen benzer maksimum kuvvet olmasına rağmen 40J darbe enerjisinde maksimum kuvvette bir miktar düşme olmuştur. Üretim proseslerinden oluşan kusurlardan dolayı oluşan maksimum kuvvet düşüşünden dolayı 40J maksimum kuvveti ihmal edilmiştir. 50 J darbe enerjisinde ise maksimum kuvvette artış olduğu görülmüştür. Bu analizlerden yola çıkılarak darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. T1 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2427,76 N, 2398,96 N, 2098,01 N, 3314,59 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



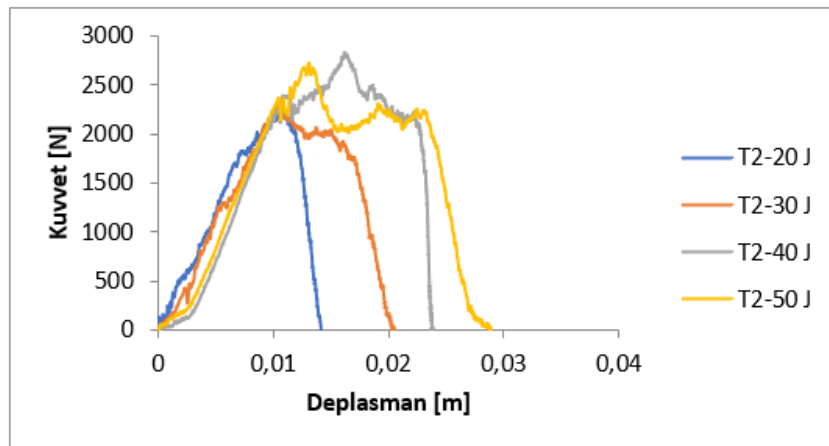
Şekil 9. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 9'da T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T1 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0115 mm, 0,0171 mm, 0,0236 mm, 0,0242 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir.



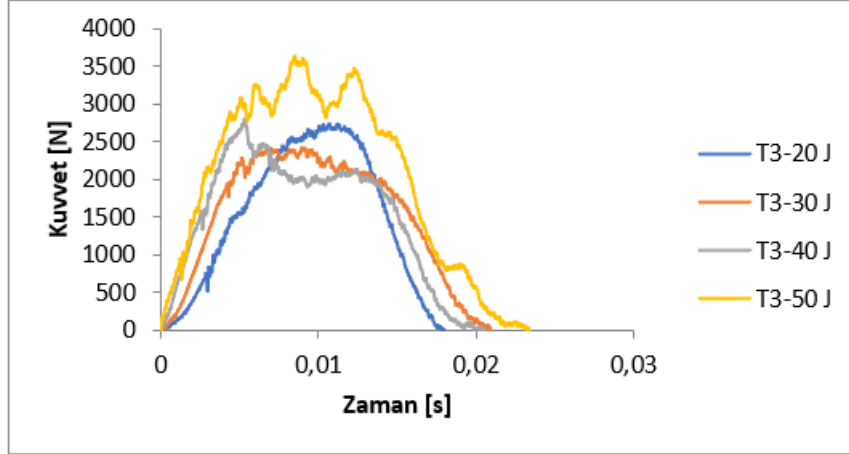
Şekil 10. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği

Şekil 10'da T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2213,27 N, 2290,10 N, 2827,96 N, 2722,31 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



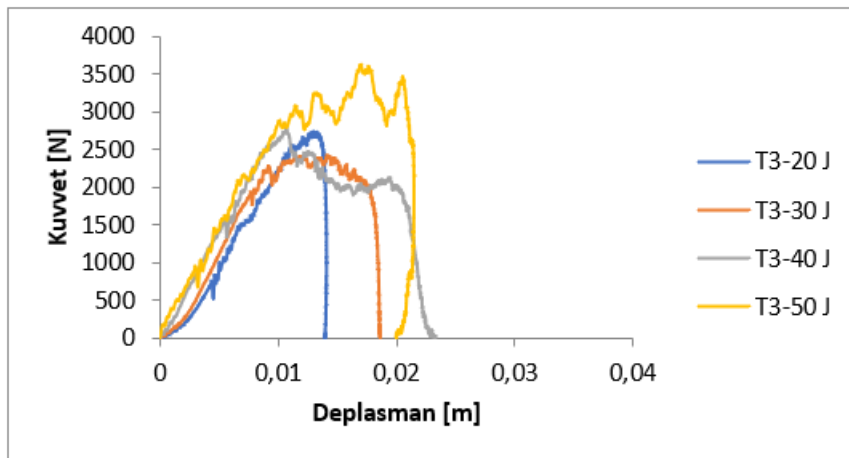
Şekil 11. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 11’de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0142 mm, 0,0205 mm, 0,0224 mm, 0,0289 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Bu noktadaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır.



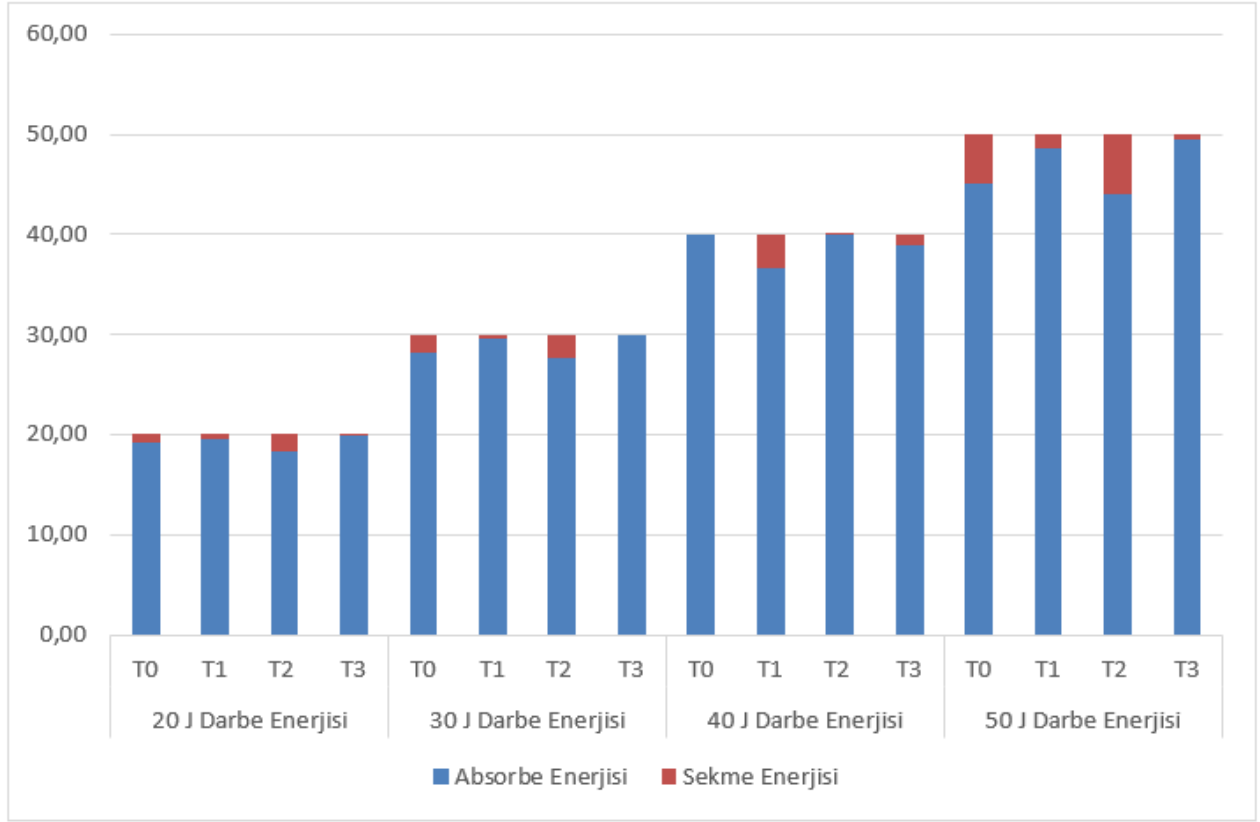
Şekil 12. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için kuvvet zamanla değişimi

Şekil 12.’de T3 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2744,72 N, 2424,56 N, 2805,55 N 3625,14 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



Şekil 13. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 13’de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0139 mm, 0,0186 mm, 0,0233 mm, 0,0199 mm şeklindedir. T3 numunelerde 50 J enerji darbesinde malzeme absorbe özelliğini kaybetmiştir.



Şekil 14. Soğurulan ve sekme enerjileri bilançosu

Şekil 14'te T0, T1, T2 ve T3 numunelerinin 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki absorbe enerjisi ve darbe enerjileri gösterilmektedir. Darbe enerjisi arttıkça numuneler tarafından absorbe edilen enerji genellikle artmaktadır.

TARTIŞMA / SONUÇ / ÖNERİ

Sonuçlar

Çelik tel takviye edilen numunelerde temas kuvvetlerinin fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı malzemelerde darbe enerjilerinin artması ile temas kuvvetlerinde artış olduğu ve buna bağlı olarak deplasman miktarının da arttığı görülmüştür. Takviye elemanı eklenmesi ile malzemede rijitlik kazanıldığı için deformasyonda azalma olmaktadır. Aynı deney grubunda darbe enerjisi arttıkça alt levha ve üst levhada meydana gelen deformasyonda artış olmaktadır. Genel olarak tel takviye sayısı arttıkça malzeme daha rijit hale geldiği için deney süresinde azalma olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak maksimum kuvvet değerleri tel takviyesi fazla olan numunelerde genellikle daha yüksek değerlerde olmaktadır. Tel takviyesi arttıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı görülmektedir.

Öneriler

Al levha kalınlığı değiştirilerek deneyler tekrarlanabilir ve levha kalınlığının darbe davranışına etkisi inceleyebilir. Matris polimer malzemenin kalınlığı değiştirilerek deneyler. Malzeme pişirme sıcaklığı ve süresi üzerine çalışmalar yapılarak daha az enerji tüketimi ve zaman kazanımı sağlanabilir. Çelik tel kalınlığındaki değişimin darbe davranışına etkisini görmek için çelik tel kalınlığı değiştirilerek çalışmalar yapılabilir. Üretilen bu sandviç yapının düşük hızlı darbesinin sanal testi çalışılabilir.

KAYNAKÇA

- Abdullah, M., & Cantwell, W. (2006). The impact resistance of polypropylene-based fibre–metal laminates. *Composites Science and Technology*, 66(11-12), 1682-1693. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.008>
- Aktaş, M., Atas, C., İçten, B. M., & Karakuzu, R. (2009). An experimental investigation of the impact response of composite laminates. *Composite Structures*, 87(4), 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2008.02.003>
- Albayrak, M., & Kaman, M. O. (2019, Ekim 18). Low velocity impact behavior of aluminum sandwich plates having rubber core. 4. *International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam/ANKARA(IMSTEC)*.
- Atalay Kalsen, T. S., Karadağ, H. B., & Eker, Y. R. (2023). The out-of-plane compression behavior of in situ ethylene vinyl acetate (EVA)-foam-filled aluminum honeycomb sandwich structures. *Materials*, 16(15), 5350. <https://doi.org/10.3390/ma16155350>
- Baucom, J. N., & Zikry, M. A. (2005). Low-velocity impact damage progression in woven E-glass composite systems. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(5), 658-664. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.07.008>
- Dağ, T., Yıldırım, N., Kepir, Y., & Uyaner, M. (2022). E/cam epoksi laminelerin üzerine uygulanan düşük hızlı darbe davranışının sayısal simülasyonu. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2022.1.1>
- Engin, Z. B. (2011). *Balpeteği sandviç kompozitlerin darbe davranışının incelenmesi* [Yüksek Lisans]. Atatürk Üniversitesi.
- Esendemir, Ü., & Caner, A. Y. (2017). Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 207. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.72732>
- Öndürücü, A., & Karacan, A. (2018). Tabakalı cam elyaf/epoksi kompozitlerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 435-447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>
- Şişkolar, Ö., Sezen, H., Genç, F. H., & Uyaner, M. (2022). Pekiştirilmiş panellerin sanal testi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 1(2), 84-94. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2022.2.2>
- Uyaner, M. (2021). *Test to graph*. Mendeley Data, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.17632/gydhpktxjk.2>
- Uyaner, M., & Yar, A. (2019). Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 10-19. <https://dergipark.org.tr/en/pub/neufmbd/issue/44699/518455>

EXTENDED ABSTRACT

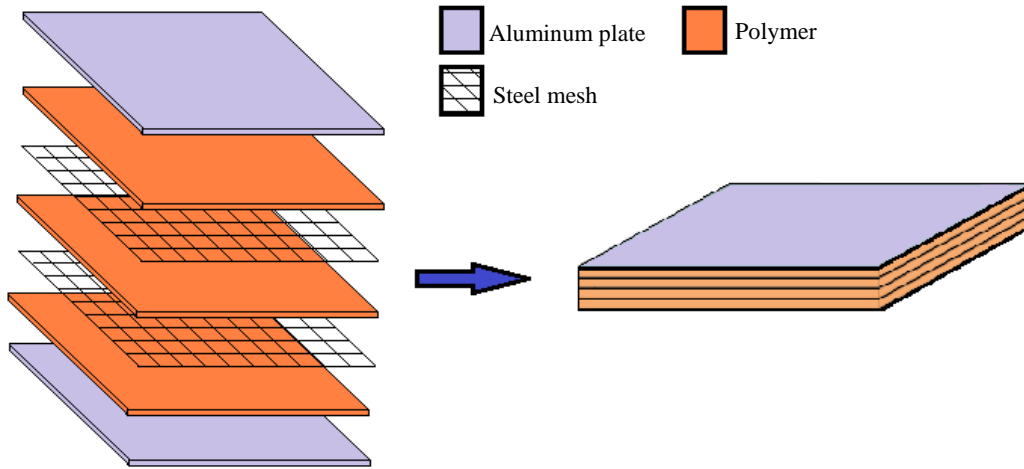


Figure A. Laminated composite and its components

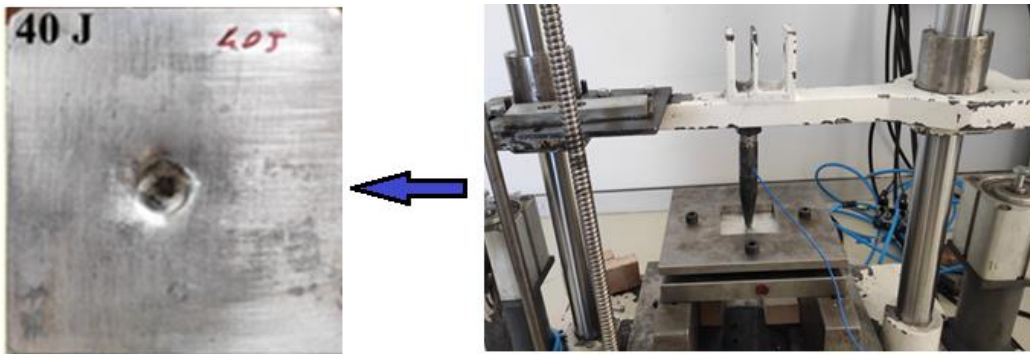


Figure B. LVI test device and tested composite

Purpose: In this study, it was aimed to produce a sandwich panel that can be used as an internal structural material in aircraft and other transportation vehicles.


Theory and Methods: Aluminum, EVA polymer and steel mesh layers were prepared in 10X10 cm dimensions. Composite material was produced by baking under pressure between heating plates.


Results: It was observed that the contact forces were higher in the samples reinforced with steel wire. It has been observed that as the impact energies increase in the same materials, there is an increase in contact forces and accordingly the amount of displacement increases.

Conclusion: It has been determined that as the number of wire reinforcements increases, the test time decreases as the material becomes more rigid. Accordingly, maximum force values are generally higher in samples with more wire reinforcement. It is seen that as the wire reinforcement increases, the elasticity of the material decreases and its strength increases, and therefore the maximum displacement generally decreases.

Solid-State VS. Fusion-Based Metal Additive Manufacturing Technologies

Haydar LİVATYALI¹ James R. CAUDILL²

¹ Mechatronics Engineering Dept., Yıldız Technical University, Besiktas Istanbul TR-34349 Türkiye, hlivatyay@yildiz.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0002-9542-2390>

² University of Kentucky, Institute for Sustainable Manufacturing (ISM), Lexington, KY 40506, USA, james.caudill@uky.edu,  <https://orcid.org/0000-0002-7185-4594>

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 30.10.2023

Accepted: 28.11.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

Metal additive manufacturing,
Solid-state additive manufacturing,
Fusion-based additive manufacturing.

Metal additive manufacturing (M-AM) processes are still seen as non-conventional in the industry, and they are considered for niche applications rather than mass production. The major determinant in the industry is the production time and unit cost. Casting, metal forming, and most machining processes are matured and optimized for low to medium-cost mass production; however, a large portion of manufacturing includes customization and there are also many products that are made only one or in very small quantities, where M-AM processes may be a good alternative to conventional manufacturing. Then, understanding the strengths and weaknesses of M-AM is critical in selecting the most technically and economically feasible option. Classifying the M-AM processes as fusion-based and solid-state is important in the sense that there are significant differences in the material properties and geometric precision provided by each category. Overall, fusion-based technologies yield net-shape parts with material properties close to casting. On the other hand, solid-state processes produce "near-net-shape" geometries; however, material properties may be superior. Nevertheless, almost in all cases, some post-processing including a surface finish operation is required.

Katı Hal ve Füzyon Tabanlı Metal Eklemeli İmalat Teknolojileri

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 30.10.2023

Kabul: 28.11.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Metal eklemeli imalat,
Katı hal eklemeli imalat,
Füzyon tabanlı eklemeli imalat.

Metal eklemeli imalat (MEİ) süreçleri sektörde hala alışılmışın dışında görülüyor ve seri üretimden ziyade niş uygulamalar için değerlendiriliyor. Sektörde süreç seçiminde en önemli belirleyici unsurlar üretim süresi ve birim maliyettir. Döküm, metal şekillendirme ve talaşlı imalat süreçlerinin çoğu, düşük ve orta maliyetli seri üretim için olgunlaştırılmış ve optimize edilmiştir; ancak imalatın büyük bir kısmı özelleştirmeyi içermektedir ve MEİ süreçlerinin geleneksel imalata iyi bir alternatif olabileceği tek veya çok küçük adetlerde üretilen birçok ürün de mevcuttur. MEİ'nin güçlü ve zayıf yönlerini anlamak, teknik ve ekonomik açıdan en uygun seçeneğin seçilmesinde kritik öneme sahiptir. MEİ işlemlerini füzyon tabanlı ve katı hal olarak sınıflandırmak, her kategorinin sağladığı malzeme özelliklerinde ve geometrik hassasiyette önemli farklılıklar olması açısından anlamlıdır. Genel olarak füzyon tabanlı teknolojiler, döküme yakın malzeme özelliklerine sahip net şekilli parçalar üretir. Öte yandan, katı hal süreçleri "net şekle yakın" geometriler üretir; ancak malzeme özellikleri daha üstün olabilir. Bununla birlikte, neredeyse her durumda, ikincil veya tamamlayıcı yüzey işlemleri de gereklidir.

Atf/Citation: Livatyalı, M. S., & Caudill, J. R. (2023). Solid-state vs. fusion-based metal additive manufacturing technologies. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 128-138. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.6>



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

INTRODUCTION

Metal additive manufacturing (M-AM) processes are still in the development phase, 23 years after the millennium. Competing technologies offer a wide range of properties in terms of materials, geometric precision, and surface integrity. Material properties of additively manufactured (AM) metal parts do not match with the well-known data of cast and wrought alloys; besides, they differ from powder metallurgy too. Being very much related to the process, AM metal parts need some post-process surface treatments (such as milling, grinding, polishing, burnishing, etc.) and thus the performances of these processes are dependent on the material properties produced by the preceding additive process. The objective of this paper is to compare the status of fusion-based and solid-state metal additive manufacturing technologies.

HISTORY OF METAL ADDITIVE MANUFACTURING

Additive Manufacturing was introduced as free-form fabrication and the main purpose was rapid prototyping. The term 3-D printing was coined in 1984 (Turney, 2021). Among the initial additive manufacturing methods such as laser stereolithography (SLA), laminated object manufacturing (LOM), fuse deposition modeling (FDM), and selective laser sintering (SLS), none could process metals. The workpiece materials were photosensitive thermoset polymers (in SLA and SGC/DLP), thermoplastic polymers (in FDM and SLS) and paper in LOM. The first metal processing capability was commercially introduced by 3D Systems Company with the SLS process. Metal powder particles could be joined when a more powerful laser source was utilized. The main shortcoming of this process was that it required an additional sintering process in an atmosphere-controlled furnace to obtain final properties. Post-processing operations such as infiltration and impregnation were also usable depending on the final metal properties required. At this stage, metal additive manufacturing became attractive for tool and die manufacturing, aerospace applications, and rapid prototyping. Over time, the industry realized the practical and economic advantages of free-form fabrication of metals and new technologies emerged (Fig.1).

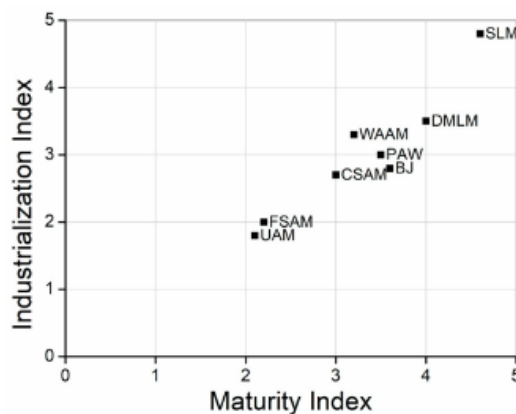


Fig. 1. Relative maturity of M-AM processes as of 2023 (Vaz et al., 2023).

FUSION-BASED METAL ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Selective Laser Melting

Selective laser melting (SLM or L-PBF: laser-powder bed fusion) is the evolved version of SLS utilizing more powerful laser beamers. SLM solved the porosity problem of SLS such that the density of current SLM products has reached 99.2-99.8% (Zhang et al., 2018). Thus, the need for sintering and infiltration is eliminated. SLM, being able to generate net-shape products, is assessed as the most mature M-AM process up to date (Fig.1) (Vaz et al., 2023). Yet, some topographic defects including weld tracks, ripples, spatters (unmelted powder particles) and surface recesses (pores) may be observed on parts made using SLM (Leach et al., n.d.). Post-processing processes are expected to eliminate these issues as well as remove the tensile residual stresses and improve subsurface hardness and microstructure.

SLM is categorized as a fusion- or beam-based method and bonding of fine metal powder is

achieved by localized rapid melting and solidification. This is the cause of columnar grains and tensile residual stresses. As a variation of SLM, electron beam powder bed fusion (SEBM, EBAM or EB-PBF) is introduced (Pelin et al., 2021). EB-PBF has some advantages over L-PBF such that better geometric precision with more consistent microstructure is possible and no residual stresses due to slower cooling in vacuum; however, larger powder particles cause a rougher surface. Since the process is applied in a closed vacuum chamber, large parts are not feasible.

Directed Energy Deposition

The next mature beam-based technology is directed energy deposition (DED). In this category, the directed heat source may be a laser beam (DMLM), electron beam (DMEBM), plasma arc (PAW) or metal arc (WAAM); and the material is fed in the form of powder or wire (Özel et al., 2023). Wire direct(ed) energy deposition processes are advantageous in feedstock cost and availability. This technique is advantageous in producing large workpieces in a short time with relatively lower geometric precision and surface quality. The geometric precision is better when a laser or electron beam and metal powder are used, but the material deposition rate is much faster in WAAM where the metal wire is locally molten using an arc. Being a fusion-based technology, tensile residual stresses that are generated during rapid solidification are inevitable.

SOLID-STATE METAL ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Fusion-based M-AM processes summarized above involve the melting of metal at higher temperatures; therefore, the final microstructure has large columnar and dendritic grains as well as oxide residues that together reduce the mechanical properties of the metal alloys. In addition, tensile residual stresses that deteriorate fatigue and corrosion performance are formed on part surfaces. To obtain superior material properties with high deposition rates solid-state additive manufacturing processes are developed.

Cold Spray Additive Manufacturing

Cold spray additive manufacturing (CSAM) (Vaz et al., 2023) is like powder DED; however, the high-velocity impact of solid particles is dominant, and some of the heat needed for bonding is transferred to the particles in a special chamber via convection before spraying instead of an in-situ directed laser or electron beam. The cold spray method was initially developed for metal coating, cladding, and surface repair. Integrating with robotic manipulators, fabrication of intricate 3-D parts has become possible in the last five years.

CSAM ejects metal, ceramic and/or polymer powder particles at supersonic speeds to attain bonding to the substrate and other particles by impact. CSAM process parameters include particle spray angle, stand-off distance, and feed rate. CSAM's microstructural evolution occurs at the impact interface where heat generation, strain hardening, and mechanical diffusion realize bonding among particles. The impact induces mechanical interlocking, and the strength of the matrix depends on the impact velocity and ductility of the material. CSAM technology has some variations including vacuum, laser-assisted, and grit blasting as well as the most common two types called the high-pressure and low-pressure systems (Fig.2) (Ashokkumar et al., 2022; Balamurugan & Prabu, 2022).

Both the low- and high-pressure systems utilize several common components including a power feeder, heater, gas tank, de Laval nozzle, and a table or a chuck to hold and position the substrate. In the high-pressure set-up, the feeder releases the feedstock powder into the carrier gas (such as N₂) and the accelerating gas (He or N₂) supply unit feeds the compressed gas into the heating chamber in a controlled manner. These two gases are mixed in a temperature-controlled chamber before entering the converging-diverging nozzle which optimizes the propulsion velocity of the ejected particles like a jet engine. The substrate may be held by a rotational positioner, Cartesian table or a robot depending on the geometry. This way, a completely new part may be deposited as free-form fabrication or an existing part may be coated, cladded, or repaired by filling problematic cavities or cracks.

The low-pressure system is relatively simpler such that there is only the accelerating gas, and the feedstock powder is mixed into this gas at the throat of the de Laval nozzle by the relative vacuum generated at the highest velocity point. The powder mass flow rate is a function of the gas flow rate; however, this system cannot reach the high-impact velocities that the high-pressure systems can. Thermal assistance by a laser beam may be utilized to improve interlocking. The deposition cross-section is like a normal distribution curve (Fig.3, left) and a complete surface deposition is achieved by some overlap like spray painting (Assadi et al., 2003). The sprayed material is not homogeneous along the thickness direction as shown in Fig.3 (right) (Ashokkumar et al., 2022). The existence of voids and pores in the outer and surface layers is the main source of brittle mechanical behavior; therefore, an annealing heat treatment is recommended to improve ductility, sacrificing some of the strength (Fig.4) (Gärtner et al., 2006). A limitation of CSAM is that very complex shapes and interiors cannot be sprayed; and thus, near-net-shape parts are possible. The process requires expensive gases, specially designed post-processing, and a porosity of 1-2% is the best outcome attained so far.

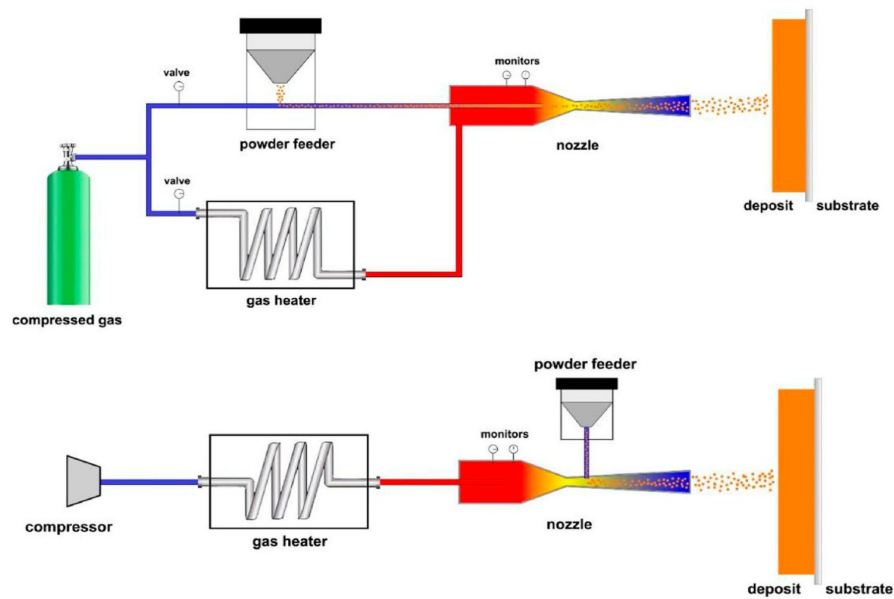


Fig. 2. High- (left) and low-pressure (right) CSAM systems (Balamurugan & Prabu, 2022).

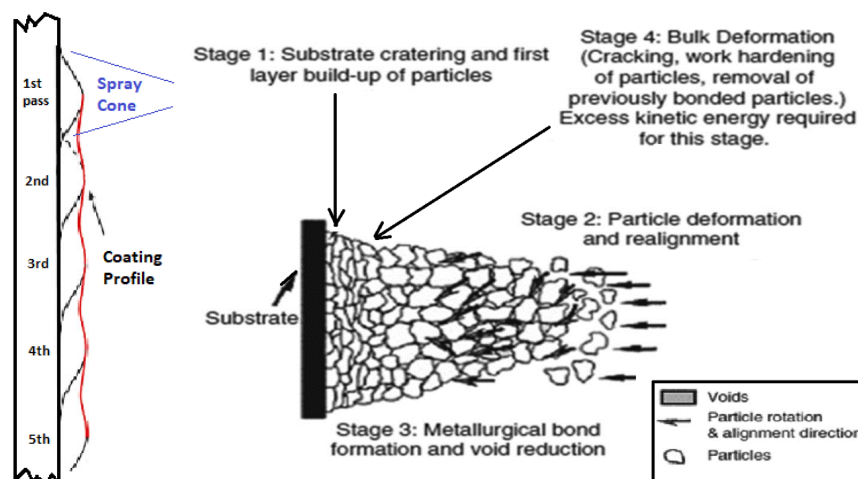


Fig. 3. Coating profile produced by subsequent deposits by CSAM (Left) (Cai et al., 2014) and stages of bonding particles at CSAM (Right) (Ashokkumar et al., 2022).

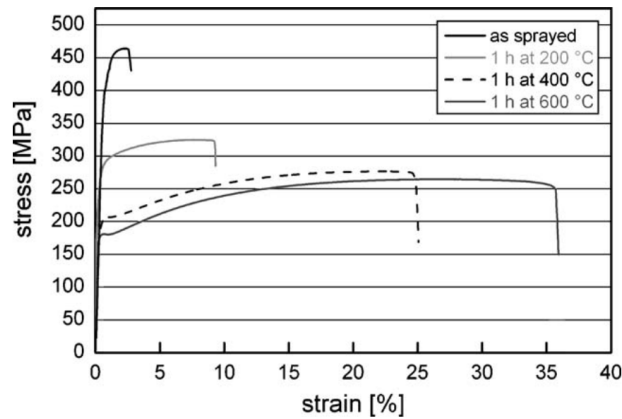


Fig. 4. Effect of heat treatment on tensile curves of high-P cold sprayed and heat-treated copper samples (Gärtner et al., 2006).

Additive Friction Stir Deposition

Additive Friction Stir Deposition (AFSD) is a newer and unique process mostly confused with friction stir additive manufacturing (FSAM) (Mishra et al., 2022). AFSD has advantages coming from solid state coalescence with almost no porosity, significantly smaller equiaxed homogeneous grains, and improved tensile strength and toughness that come with high productivity. Thanks to the severe plastic deformation that takes place during the friction stir deposition process. Additional advantages include being capable of making large parts from difficult-to-cast metal alloys in an open atmosphere as well as the flexibility of infeed material forms such as bars or chips. One drawback is that the yield strength is usually reduced, but strain hardenability is increased. Heat treatment options need to be considered especially in the precipitation-hardening metal alloys where the severe grain refinement does not allow precipitation. The part geometry produced by AFSD is near-net-shape; therefore, a sequence of machining and surface finish operations is needed. Being a relatively new technology, AFSD has many unknowns and a big potential for research until it becomes a more common method in the industry (Fig.5).

A schematic of the AFSD process is shown in Fig. 6. A hollow cylindrical tool is rotated pressing the substrate or the previously deposited layer. The feedstock in the form of a (9.525x9.525 mm) square rod is vertically fed towards the substrate and pushed from the back rotating with the tool under shape constraint. The bottom face of the feedstock starts to soften under frictional heat, and with the effect of the downward force, it spreads sideways. The feedstock becoming a thin disk gains a larger friction surface that increases the heat generated and thus the temperature rises. The rotation of the tool head applying pressure on the flattened feedstock causes a stirring effect on the material that has become visco-plastic, and four protrusions (knobs) located at the bottom of the tool head elevate the stirring effect. When the plasticized feedstock exceeds the tool diameter, the tool starts to move horizontally in the traverse direction, depositing the feedstock on the trailing side of the motion. Once the pass length is complete, the tool is shifted sideways or upwards to deposit the next layer. An overlap may or may not be employed in subsequent deposits on the same vertical level. The metal remains in a solid-state during the process over the recrystallization temperature, however, the deposited parts on the trailing side of the tool cool down in still air. When the tool passes over the deposit for the next one, the previously deposited layers are heated again to a temperature close to but lower than the material being stirred and deposited. Hence, when several layers (1-2 mm thick) are deposited on top of each other, the layers at the bottom of the built part are subjected to numerous heating-cooling cycles, but the top layers are subjected to fewer cycles. This causes a variation in grain size from bottom to top.



Fig. 5. Meld L3 machine tool installed in the University of Kentucky

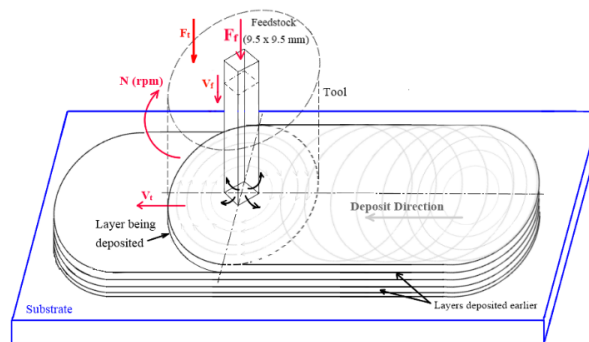


Fig. 6. A schematic of AFSD

AFSD has been commercialized since 2018 (Griffiths et al., 2019), and it is academically and industrially tested in metals such as Aluminum alloys AA 2020, 2219, 2050, 5083, 5B70, 6061, 6063, 7050, 7075, Mg alloys AZ31B and WE43, Steel alloys including 1018, 1060 and SS 316L as well as titanium alloy Ti6Al4V. The outcome of the AFSD process is dependent on the feedstock metal type and properties as well as the process parameters including tool head rotational speed and traverse speed, axial force, feedstock rod diameter and offset layer thickness.

Yu and Mishra (Yu & Mishra, 2021) published a comprehensive review elaborating on the micro-, meso- and macro-scale issues, advantages, and potential of AFSD. Accordingly, AFSD has the advantage of producing a fine equiaxed grain structure without any porosity. AFSD has a higher TRL on metal alloys with low melting temperatures and relatively high ductility, but it is anticipated that it has potential on higher-strength metal alloys too. The severe plastic deformation in AFSD takes place around $0.6-0.9T_m$. The process builds a material with reduced yield strength, fatigue strength, hardness, and rupture strain (maximum elongation and increased ultimate tensile strength and strain hardenability). Residual stresses on the as-built work parts have not been elaborated yet.

Rivera et al. (Rivera et al., 2018) processed AA 2219-T851 at a deposition rate of $1000 \text{ cm}^3/\text{h}$ and elaborated on the relationships among texture, grain refinement and the mechanical properties of the deposited material or semi-product paying attention to layers. Anderson-Wedge et al. (Anderson-Wedge et al., 2021) worked on the fatigue behavior of the same alloy. Babaniaris et al. (Babaniaris et al., 2022) processed rods made from compressed recyclable swarf AA 6063 and tested the outcomes after T4, T5 and T6 heat treatments. Jordon et al. (Jordon et al., 2020) is a summary of experiments on AFSD of screw-fed AA 5083 machining chips. In the same team's follow-up paper, (Beck et al., 2023) AFSD test results of AA 5083-H131 bar feedstock and recycling chips were compared. Perry et al. (Perry et al., 2020) investigated the interface formed in a dissimilar Aluminum alloy system, AA 2024 deposition onto AA

6061 substrate. Mukhopadhyay and Saha (Mukhopadhyay & Saha, 2020) proposed a variation to the process such that the low-strength AA 1060-H12 chips are used as the feedstock and the chips are fed to the front of the rotating tool head. Tang et al. (Tang et al., 2023) introduced a modified version, called friction extrusion additive manufacturing (FEAM). The main idea of the friction stir mechanism is the same, the force-controlled process stresses the extrusion stage more strongly and a tool pre-set thickness of 4 mm is produced instead of a thinner (1-2 mm) one. Griffith et al. (Griffiths et al., 2021) experimentally compared AFSD of AA 6061-T6 and Cu 110-H02 (half-hard) as feedstock in terms of microstructure evolution and its dependence on process variables. Ghadimi et al. (Ghadimi et al., 2023) and Phillips et al. (Phillips et al., 2021) tested AFSD of AA 2050 and AA 5083, respectively. They reported that the lubrication of AFSD needs to be matured, and some kind of non-contaminating lubricant should replace the graphite-based dry lubricant currently employed.

Yoder et al. (Yoder et al., 2021), compared the properties of as-built AA 7075 with the as-wrought feedstock. Joshi et al. (Joshi et al., 2022) investigated AFSD of AZ31B and Williams et al. (Williams et al., 2021) tested WE43 Mg alloy and obtained a refined, homogenous equiaxed microstructure when compared to the feedstock resulting in a reduction in average grain size from 45 to 2.7 μm on the top layer and 4.5 μm on the bottom one. Griffith et al. (Griffiths et al., 2022) tested the feasibility of AFSD of stainless steel 304 under water and showed good deposition quality and remarkable microstructure differences from conventional deposition. Martin et al. (Martin et al., 2022) applied AFSD on stainless steel 316L for surface repair to compensate for material loss on AISI 4340 substrate as groove filling and surface cladding. Farabi et al. (Farabi et al., 2022) tested AFSD of Ti6Al4V to analyze the microstructural and mechanical effects on the outcome.

The work published so far is heavily experimental and focused on nano, micro and macro behaviors of the tested alloys. How the semi-finished deposit will be commercialized has not been elaborated. Mechanical components that may be made using AFSD will be specified for their performances under load, but their surface features are also critical. Since the material produced by AFSD is remarkably different from the as-cast, wrought, and other additive alternatives, the effect of the machining and surface finishing processes will also be different.

The material properties produced by AFSD are sometimes superior to the conventional alternatives due to the unique grain structure. AFSD metals do not have homogeneous material properties along the build direction. The top layer shows a more textured and harder/stronger behavior while the texture fades away towards the bottom layer and the grains get somewhat larger. Heat treatment, for example, T6 or T651 in AA 6061 or AA 7075 can attain homogenization of the micro and macro properties; however, the resultant metal shows somewhat inferior mechanical properties as compared to the wrought one with the same temper. The single advantageous property that has been experimentally shown is high-cycle fatigue.



Fig. 7. Examples of an experimental (Phillips et al., 2021) and two industrial AFSD parts (Cole, J., 2020; Stevenson, K., 2018).

Other Technologies

Binder Jet (BJ) technology is an indirect fabrication method with the initial binding of the metal powder achieved by a thermoset polymeric binder and further sintering in an industrial furnace is a must. The sintering temperature is usually just below the melting temperature; therefore, it is regarded as a solid-state AM technology (Tuncer & Bose, 2020). There is no mechanical deformation involved as in CSAM and AFSD, and the final microstructure is also different (Li et al., 2020). BJ produces a porous structure with 95% density and some shrinkage during the sintering phase occurs. The parts have a lower surface roughness (as low as R_a 3 μm if a bead-blasting step is employed) compared to DMLS/SLM (R_a 12-16 μm). Such low surface roughness is beneficial for parts with internal channels and geometries that can be difficult to post-process. parts tend to have only moderate mechanical properties and high porosity, meaning that they may not be suitable for all requirements. Combining economy in equipment cost with geometric precision, BJ is commercialized by many companies.

Friction Stir Additive Manufacturing (FSAM) is an extension of the friction stir welding process (Mishra et al., 2022). The main difference between the two is that thin metal sheets are piled layer by layer and they are joined on the face by the heat and pressure produced by friction stirring in FSAM. In this sense, FSAM is like laminated object manufacturing (LOM) in which sheets are pasted to each other using some organic adhesive and pressure. In the FSAM process, a solid-state face welding process takes place where the heat is produced by the friction of a rotating carbide tool which simultaneously applies the needed pressure to eliminate any porosities.

Ultrasound Additive Manufacturing (UAM) works like FSAM; however, instead of frictional heat produced under high-pressure ultrasonic vibrations remove the oxide layer on the surfaces of the sheets, allowing them to fuse in solid state at a relatively low temperature (Arnold, 2023). This process perfectly fits the electronics and sensor production allowing the joining of dissimilar metals in sheet form as well as powder sandwiched between thin sheets. The main weakness so far is the anisotropy of the as-built part.

DISCUSSIONS

When the term M-AM is used, L-PBF (or SLM) is the main technology recalled. L-PBF has a significant advantage over other technologies by holding the highest TRL rating with the capability of building net-shape parts with minimal porosity and acceptable surface finish. However, the high cost of metal powders, inferior mechanical properties due to columnar microstructure coupled with tensile residual stresses on part surfaces and the low production rate opened the way for alternative technology development. Besides, the application of L-PBF is limited to specific and rather valuable alloys, and it is not widespread to ordinary and low-cost metal alloys such as carbon steels.

DED technologies eliminate the limitations of L-PBF on size and fabrication rate; however, they still employ the fusion-based bonding method which does not bring improved mechanical and microstructural properties. Mechanical deformation-based solid-state M-AM technologies yield improved mechanical properties without tensile surface residual stresses, sacrificing geometric precision. CSAM may generate net-shape components, but AFSD (as well as FSAM and USAM) is a semi-product building process.

Gamon et al. (Gamon et al., 2021) and Tuncer and Bose (Tuncer & Bose, 2020) compared various M-AM processes including L-PBF, EB-PBF, L-powder DED, L-wire DED, CSAM, EB-DED, WAAM, laser hot wire, BJ, and CSAM in terms of as-built microstructure and associated micro-indentation hardness (HV) for alloy 625. Regardless of technical differences, all the tested processes produced irregular grain structures containing varying columnar arrays of micro-dendrites, cellular dendrite structures and varying arrays of precipitates as well as fine equiaxed ones. The hardness measurements were in a wide range (180–590 HV) BJ giving the lowest and CSAM the hardest.

Consequently, all M-AM-built parts require some sort of post-processing. Processes using powder

feedstock need de-powdering. All processes need some de-burring operation. HIP is suggested and proven useful to reduce voids and porosities, but it is not a practical and economically feasible method. Heat treatment including some type of annealing is recommended in most cases, but recrystallization would release the residual stresses and thus geometric distortions would occur. Next, comes machining processes such as ball-end milling and turning. These subtractive operations achieve geometric precision along with improved surface roughness, but under most process conditions they produce tensile residual stresses (to a lesser extent). A finishing operation including abrasive, chemical or electro-chemical polishing or a deformation-based method such as burnishing, may follow the machining step to obtain improved surface integrity. To summarize, except in rare cases, none of the M-AM processes can manufacture a ready-to-use finished product. However, solid-state M-AM processes usually produce an outcome farther from the final product, while fusion-based processes and BJ may yield a geometry closer to the target with inferior mechanical properties.

CONCLUDING REMARKS

This paper provides a comparison of the more common and established fusion-based M-AM processes and two solid-state processes CSAM and AFSD. Powder bed fusion, directed energy deposition and binder jetting techniques produce parts with better geometric precision; however, surface integrity and mechanical properties are significantly inferior compared to as-wrought and as-cast material. Solid-state additive processes including cold spray and friction stir deposition are still in the development phase with lower TRL and MRL, but they offer superior mechanical performance sacrificing geometric precision. Most of the published research on solid-state M-AM processes is experimental. To develop a better understanding of the governing mechanisms in these processes novel analytical and numerical models need to be developed.

Acknowledgement

The support, supervision and guidance received from Prof. I. S. Jawahir of the Institute for Sustainable Manufacturing at the University of Kentucky (USA) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Anderson-Wedge, K., Avery, D. Z., Daniewicz, S. R., Sowards, J. W., Allison, P. G., Jordon, J. B., & Amaro, R. L. (2021). Characterization of the fatigue behavior of additive friction stir-deposition AA2219. *International Journal of Fatigue*, 142, 105951. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105951>
- Arnold, Katelyn. (2023, May 23). AM 101: What is Ultrasonic Additive Manufacturing? Additive Manufacturing, <https://www.additivemanufacturing.media/articles/am-101-ultrasonic-additive-manufacturing>.
- Ashokkumar, M., Thirumalaikumarasamy, D., Sonar, T., Deepak, S., Vignesh, P., & Anbarasu, M. (2022). An overview of cold spray coating in additive manufacturing, component repairing and other engineering applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 31(1), 514–534. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2022-0056>
- Assadi, H., Gärtner, F., Stoltenhoff, T., & Kreye, H. (2003). Bonding mechanism in cold gas spraying. *Acta Materialia*, 51(15), 4379–4394. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(03\)00274-X](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(03)00274-X)
- Babaniaris, S., Jiang, L., Varma, R. K., Farabi, E., Dorin, T., Barnett, M., & Fabijanic, D. (2022). Precipitation in AA6063 produced from swarf using additive friction stir deposition. *Additive Manufacturing Letters*, 3, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.addlet.2022.100096>
- Balamurugan, K. G., & Prabu, G. (2022). Cold Spray Additive Manufacturing. In A. Babbar, R. Kumar, V. Dhawan, N. Ranjan, & A. Sharma, *Additive Manufacturing of Polymers for Tissue Engineering* (1st ed., pp. 115–129). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003266464-7>
- Beck, S. C., Williamson, C. J., Kinser, R. P., Rutherford, B. A., Williams, M. B., Phillips, B. J., Doherty, K. J., Allison, P. G., & Jordon, J. B. (2023). Examination of microstructure and mechanical

- properties of direct additive recycling for Al-Mg-Mn alloy Machine chip waste. *Materials & Design*, 228, 111733. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111733>
- Cai, Z., Deng, S., Liao, H., Zeng, C., & Montavon, G. (2014). The Effect of Spray Distance and Scanning Step on the Coating Thickness Uniformity in Cold Spray Process. *Journal of Thermal Spray Technology*, 23(3), 354–362. <https://doi.org/10.1007/s11666-013-0002-0>
- Cole, J. (2020). Meld Manufacturing Says Large 3D Printed Aluminum Part Represents Milestone. *Modern Machine Shop*.
- Farabi, E., Babaniaris, S., Barnett, M. R., & Fabijanic, D. M. (2022). Microstructure and mechanical properties of Ti6Al4V alloys fabricated by additive friction stir deposition. *Additive Manufacturing Letters*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.addlet.2022.100034>
- Gamon, A., Arrieta, E., Gradl, P. R., Katsarelis, C., Murr, L. E., Wicker, R. B., & Medina, F. (2021). Microstructure and hardness comparison of as-built Inconel 625 alloy following various additive manufacturing processes. *Results in Materials*, 12, 100239. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2021.100239>
- Gärtner, F., Stoltenhoff, T., Voyer, J., Kreye, H., Riekehr, S., & Koçak, M. (2006). Mechanical properties of cold-sprayed and thermally sprayed copper coatings. *Surface and Coatings Technology*, 200(24), 6770–6782. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.10.007>
- Ghadimi, H., Ding, H., Emanet, S., Talachian, M., Cox, C., Eller, M., & Guo, S. (2023). Hardness Distribution of Al2050 Parts Fabricated Using Additive Friction Stir Deposition. *Materials*, 16(3), 1278. <https://doi.org/10.3390/ma16031278>
- Griffiths, R. J., Garcia, D., Song, J., Vasudevan, V. K., Steiner, M. A., Cai, W., & Yu, H. Z. (2021). Solid-state additive manufacturing of aluminum and copper using additive friction stir deposition: Process-microstructure linkages. *Materialia*, 15, 100967. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2020.100967>
- Griffiths, R. J., Perry, M. E. J., Sietins, J. M., Zhu, Y., Hardwick, N., Cox, C. D., Rauch, H. A., & Yu, H. Z. (2019). A Perspective on Solid-State Additive Manufacturing of Aluminum Matrix Composites Using MELD. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(2), 648–656. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3649-3>
- Joey Griffiths, R., Gotawala, N., Hahn, G. D., Garcia, D., & Yu, H. Z. (2022). Towards underwater additive manufacturing via additive friction stir deposition. *Materials & Design*, 223, 111148. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111148>
- Jordon, J. B., Allison, P. G., Phillips, B. J., Avery, D. Z., Kinser, R. P., Brewer, L. N., Cox, C., & Doherty, K. (2020). Direct recycling of machine chips through a novel solid-state additive manufacturing process. *Materials & Design*, 193, 108850. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108850>
- Joshi, S. S., Sharma, S., Radhakrishnan, M., Pantawane, M. V., Patil, S. M., Jin, Y., Yang, T., Riley, D. A., Banerjee, R., & Dahotre, N. B. (2022). A multi modal approach to microstructure evolution and mechanical response of additive friction stir deposited AZ31B Mg alloy. *Scientific Reports*, 12(1), 13234. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17566-5>
- Leach, R., Thompson, A., & Senin, N. *A Metrology Horror Story: The Additive Surface*. ASPEN/ASPE 2017 Spring Topical Meeting on Manufacture and Metrology of Structured and Freeform Surfaces for Functional Applications. Mar 14-17, 2017 Hong Kong, China.
- Li, M., Du, W., Elwany, A., Pei, Z., & Ma, C. (2020). Metal Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(9), 090801. <https://doi.org/10.1115/1.4047430>
- Martin, L. P., Luccitti, A., & Walluk, M. (2022). *Evaluation of Additive Friction Stir Deposition of AISI 316L For Repairing Surface Material Loss in AISI 4340* [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1214920/v1>
- Mishra, R. S., Haridas, R. S., & Agrawal, P. (2022). Friction stir-based additive manufacturing. *Science and Technology of Welding and Joining*, 27(3), 141–165.

- <https://doi.org/10.1080/13621718.2022.2027663>
- Mukhopadhyay, A., & Saha, P. (2020). Mechanical and microstructural characterization of aluminium powder deposit made by friction stir based additive manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 281, 116648. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116648>
- Özel, Tuğrul, Shokri, Hamed, & Loizeau, Raphaël. (2023). A Review on Wire-Fed Directed Energy Deposition Based Metal Additive Manufacturing. *J. Manuf. Mater. Process.*, 7(45), 1–24. <https://doi.org/10.3390/jmmp7010045>
- Pelin, C.-E., Stoican, G. M., Stefan, A., Pricop, M. V., Ilina, S., & Pelin, G. (2021). Mechanical properties of 3D printed metals. *INCAS Bulletin*, 13(1), 123–129. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2021.13.1.13>
- Perry, M. E. J., Griffiths, R. J., Garcia, D., Sietins, J. M., Zhu, Y., & Yu, H. Z. (2020). Morphological and microstructural investigation of the non-planar interface formed in solid-state metal additive manufacturing by additive friction stir deposition. *Additive Manufacturing*, 35, 101293. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101293>
- Phillips, B. J., Williamson, C. J., Kinser, R. P., Jordon, J. B., Doherty, K. J., & Allison, P. G. (2021). Microstructural and Mechanical Characterization of Additive Friction Stir-Deposition of Aluminum Alloy 5083 Effect of Lubrication on Material Anisotropy. *Materials*, 14(21), 6732. <https://doi.org/10.3390/ma14216732>
- Rivera, O. G., Allison, P. G., Brewer, L. N., Rodriguez, O. L., Jordon, J. B., Liu, T., Whittington, W. R., Martens, R. L., McClelland, Z., Mason, C. J. T., Garcia, L., Su, J. Q., & Hardwick, N. (2018). Influence of texture and grain refinement on the mechanical behavior of AA2219 fabricated by high shear solid state material deposition. *Materials Science and Engineering: A*, 724, 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.03.088>
- Stevenson, K. (2018). More on the MELD Process. *Fabbaloo*.
- Tang, W., Yang, X., & Tian, C. (2023). Influence of rotation speed on interfacial bonding mechanism and mechanical performance of aluminum 6061 fabricated by multilayer friction-based additive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(9–10), 4119–4133. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11378-1>
- Tuncer, N., & Bose, A. (2020). Solid-State Metal Additive Manufacturing: A Review. *JOM*, 72(9), 3090–3111. <https://doi.org/10.1007/s11837-020-04260-y>
- Turney, Drew. (2021, August 21). History of 3D Printing; It is Older Than You Think. *Redshift*, 1–9.
- Vaz, R. F., Garfias, A., Albaladejo, V., Sanchez, J., & Cano, I. G. (2023). A Review of Advances in Cold Spray Additive Manufacturing. *Coatings*, 13(2), 267. <https://doi.org/10.3390/coatings13020267>
- Williams, M. B., Robinson, T. W., Williamson, C. J., Kinser, R. P., Ashmore, N. A., Allison, P. G., & Jordon, J. B. (2021). Elucidating the Effect of Additive Friction Stir Deposition on the Resulting Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloy WE43. *Metals*, 11(11), 1739. <https://doi.org/10.3390/met11111739>
- Yi Zhang, Linmin Wu, Xingye Guo, Stephen Kane, Yifan Deng, Yeon-Gil Jung, Je-Hyun Lee, and Jing Zhang. (2018). Additive Manufacturing of Metallic Materials: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(1), 1–13.
- Yoder, J. K., Griffiths, R. J., & Yu, H. Z. (2021). Deformation-based additive manufacturing of 7075 aluminum with wrought-like mechanical properties. *Materials & Design*, 198, 109288. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109288>
- Yu, H. Z., & Mishra, R. S. (2021). Additive friction stir deposition: A deformation processing route to metal additive manufacturing. *Materials Research Letters*, 9(2), 71–83. <https://doi.org/10.1080/21663831.2020.1847211>