


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 dönüştürülememesi 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

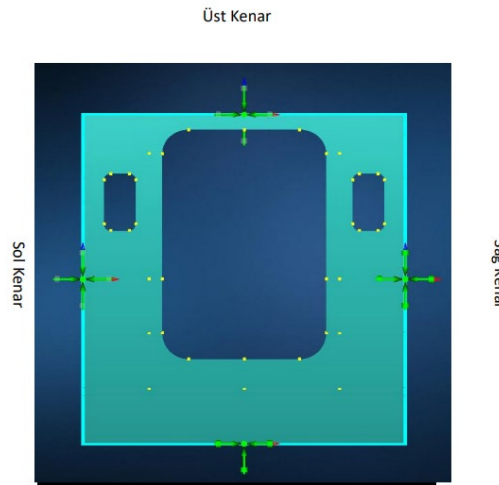
Young Modülü (Elastite Modülü) (E)	15400 MPa
Poisson Oranı (ν)	0,36
Yoğunluk (ρ)	1,58 g/cm ³
Akma Gerilimi (σ_y)	115 MPa

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

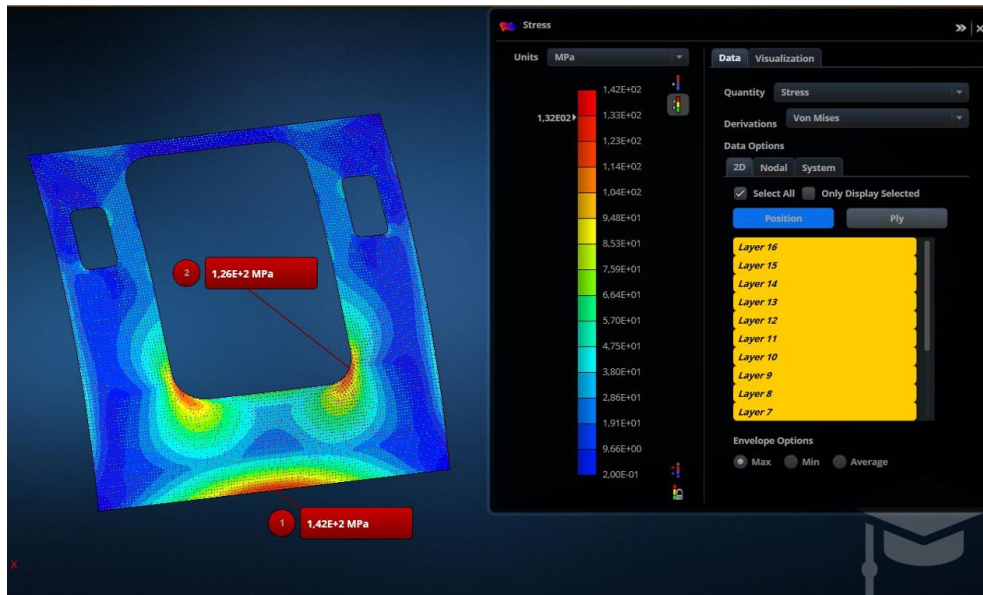
Çizelge 3. Panel Boyutları

	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

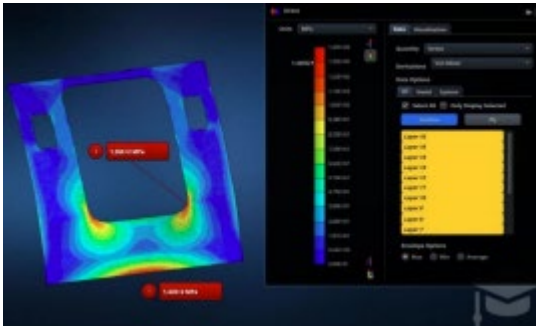
- Awais, H., Nawab, Y., Amjad, A., Anjang, A., Md Akil, H., & Zainol Abidin, M. S. (2021). Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100082. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2020.100082>
- Gopi, S., Balakrishnan, P., Sreekala, 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.