



Aviyonik Kutuların İmalatında Kullanılan Malzemelerin Soğutma Üzerindeki Etkisi

Melih Ateş^{1*}, Rasim Behçet²

^{1*} Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0849-1003), melih.ates@tai.com.tr

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6897-3066), rasim.behcet@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 16 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1144057)

ATIF/REFERENCE: Ateş, M. & Behçet, R. (2023). Aviyonik Kutuların İmalatında Kullanılan Malzemelerin Soğutma Üzerindeki Etkisi., *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (46), 17-26.

Öz

Havacılık sektöründe kullanılan aviyonik kutular, işlemci, sensör ve kablolama gibi elemanları içerisinde barındıran sistemlerdir. Yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren bu sistemler bakır, alüminyum ve farklı tür kompozit malzemelerden imal edilebilmektedirler. Bu çalışmada, aviyonik kutuların imalatında kullanılan alüminyum ve nanokompozit malzemelerin harici bir soğutma ünitesi kullanılarak termal analizleri yapılmış ve soğutmaya olan etkileri karşılaştırılmıştır. Malzemelerin termal performansları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, kutu içerisinde oluşan ısının homojen olarak dağıldığı durumda iki malzemenin termal performansları hesaplanıp karşılaştırılırken ikinci aşamada ısı yüküne sebep olan enstrümanlar tek bir duvarda toplanarak hesaplamalar yapılmıştır. Analizlerde elde edilen sonuçlar dikkate alındığında homojen ısı dağılımlı koşullarda 75 °C dış ortam sıcaklıkları için alüminyum malzemedeki imal edilen kutuda en yüksek sıcaklık 112,9 °C olurken alüminyum yerine epoksi matrisli VGCF nanokompoziti kullanılması durumunda bu sıcaklık değeri 96,8 °C seviyelerine düşmüştür. İkinci aşama olan ısı yükünün tek duvarda toplandığı koşulda ise yine 75 °C dış ortam sıcaklığı için hesaplamalar yapılmış olup alüminyum kutuda 99,1 °C, nanokompozit kutuda 92,2 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. Bu da yapılan malzeme güncellemesinin homojen ısı dağılımlı koşulda %14,3, homojen olmayan ısı dağılımlı koşulunda ise %7 seviyelerinde iyileştirme olduğunu göstermektedir. Analizlerin tüm aşamalarında 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanılmıştır. Yapılan bir diğer analizde ise alüminyumdan imal edilen kutuda hangi kapasitedeki soğutucu kullanılırsa nanokompozit malzeme ile aynı sonucu edileceği araştırılmıştır. Homojen ısı dağılımlı alüminyum kutuda 112,9 °C yerine 96,8 °C sıcaklık elde etmek için soğutucu kapasitesini 800 W'dan 1100 W seviyelerine çıkarmak gerekmektedir. Tek duvara yoğunlaştırılmış koşulda ise alüminyum kutunun sıcaklığını 99,1 °C'den 92,2 °C'ye düşürmek için 900 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanmak gerektiği belirlenmiştir. Bu da homojen ısı dağılımlı koşullarında %37,5, homojen olmayan ısı dağılımlı koşulunda ise %12,5 seviyelerinde bir verim elde edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla düşük enerji tüketimi ve düşük ağırlık özelliklerinin kritik öneme sahip olduğu havacılık sektöründe aviyonik kutularda alüminyum yerine nanokompozit malzeme kullanımının daha uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Aviyonik kutu, Alüminyum, Nanokompozit, Soğutma, Termal analiz

Cooling Effect of the Materials Used in the Manufacturing of Avionic Boxes

Abstract

Avionic boxes which used in the aviation industry are systems that contain elements such as processor, sensor and cabling. These systems, which require high strength and lightness, can be manufactured from copper, aluminum and different types of composite materials. In this study, thermal analysis of aluminum and nanocomposite materials used in the manufacture of avionic boxes were made using an external cooling unit and their effects on cooling were compared. The thermal performances of the materials were carried out in two stages. In the first stage, when the heat generated in the box is homogeneously distributed, the thermal performances of the two materials are calculated and compared, while in the second stage, the instruments that cause the thermal load are concentrated on a single wall and calculations are made. Considering the results obtained in the analysis, the highest temperature

* Sorumlu Yazar: melih.ates@tai.com.tr

in the box made of aluminum material for 75 °C outer temperatures under homogeneous heat distribution conditions was 112.9 °C, while this temperature value decreased to 96.8 °C when VGCF nanocomposite with epoxy matrix was used instead of aluminum. In the second stage, in the condition that the thermal load is concentrated on a single wall, calculations were made for the outer temperature of 75 °C, and a temperature value of 99.1 °C in the aluminum box and 92.2 °C in the nanocomposite box was obtained. This shows that the material update improved by 14.3% in the homogeneous heat distribution condition and 7% in the non-homogeneous heat distribution condition. A thermoelectric cooler with a capacity of 800 W was used in all stages of the analysis. In another analysis, it was investigated that which capacity of cooler is used in the box made of aluminum will give the same result as the nanocomposite material. In order to obtain a temperature of 96.8 °C instead of 112.9 °C in an aluminum box in homogeneous heat distribution, it is necessary to increase the cooler capacity from 800 W to 1100 W. In the concentrated condition on a single wall, it was determined that a thermoelectric cooler with a capacity of 900 W should be used to reduce the temperature of the aluminum box from 99.1 °C to 92.2 °C. This shows that an efficiency of 37.5% in homogeneous heat distribution conditions and 12.5% in non-homogeneous heat distribution is achieved. Therefore, it can be said that it is more appropriate to use nanocomposite materials instead of aluminum in avionic boxes in the aviation industry, where low energy consumption and low weight features have critical importance.

Keywords: Avionics box, Aluminum, Nanocomposite, Cooling, Thermal Analysis

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstride kullanılan malzeme ve imalat yöntemleri de gelişmektedir. Geçmişte imalat işlemlerinde düşük mukavemetli ve ağır malzemeler kullanılırken günümüzde bu malzemeler yerine daha hafif ve yüksek mukavemetli malzemeler kullanılmaktadır. Hızla gelişen imalat metotları ile birlikte endüstride kullanılan metaller, gün geçtikçe yerini daha kolay imal edilebilen, düşük maliyetli ve daha iyi özelliklere sahip kompozit malzemelere bırakmaktadır. Ambalaj, sağlık, inşaat, ulaşım, savunma, uzay ve havacılık gibi birçok alanda kullanılan yeni tür malzemelerden biride kompozit malzemelerdir. Yeni nesil kompozit malzemeler olarak da isimlendirilen nanokompozit malzemelerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Gerek düşük özgül ağırlıkta olmaları gerekse istenilen dayanım özelliklerini gösterebilme açısından kompozit malzemelerin endüstride kullanımı daha sık tercih edilir hâle gelmiştir (White, 2002). Hafif ve yüksek mukavemet özelliklerine sahip kompozit malzemelerin kullanıldığı alanlardan biride havacılık sektöründe kullanılan aviyonik kutulardır. Aviyonik şasilerin imalatında hâlihazırda polimer, bakır ve/veya alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek irtifada görev yapan sistemlerde kullanılan aviyonik kutuların çevresel sıcaklıklarda korunması için bu kutuların sıcaklığının belirli bir değer aralığında sabit tutulması gereklidir. Alüminyum malzemeden imal edilen elemanların aşırı sıcaklığa karşı korunmaları için soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Sistemlerin kullanılmaları esnasında enerji ihtiyacının kritik olduğu durumlarda aviyonik kutuların sıcaklık şartlarını yerine getirebilmesi kullanılacak enerji miktarının düşürülmesi ile mümkündür. Şekil 1.'de bir örneği gösterilen aviyonik kutu, hava araçlarının en kritik elemanlarından biri olup bu kutunun içinde yer alan işlemci, sensör ve kablolama elemanların elektromanyetik dalgalardan, mekanik darbelerden ve çevresel şartlara karşı korunması önem arz etmektedir. Yüksek irtifada görev yapan platformlarda çevre kaynaklı yüksek sıcaklıklara karşı aviyonik kutuların muhafaza edilmesi ve mevcut şartlarda bakır veya alüminyum malzemeden imal edilen sistemlerin soğutulması ne kadar iyi olursa sistemin verimi o oranda artacaktır (Rosero, 2007).



Şekil 1.1 Bir aviyonik kutu örneği (Figure 1.1 An avionics box sample)

Aviyonik kutuların çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve bu kutuların görev icrası esnasında yüksek sıcaklıklara sistemin daha düzenli bir şekilde çalışmasına imkân sağlayacaktır. Alüminyum malzemeden imal edilen aviyonik kutuların içerisinde yer alan sensör, kablolama ve işlemci gibi elemanlardan kaynaklanan sıcaklık artışı belirlenen değerlerin üzerine çıkabilmektedir. Ancak aviyonik kutularda bu istenmeyen bir durumdur. Kablolama ve işlemci gibi elemanlar sebebiyle oluşan ısıyı daha yüksek mertebelerde dış ortama iletebilen ve sıcaklık artışını engellemek kullanılabilecek malzemelerden biride nanokatılandırılmış kompozit malzemelerdir. İmalat işlemlerinde kullanılan farklı tür malzeme(metal, kompozit, nanokompozit vb.)'lerin özelliklerini araştırmak, malzemelerin özelliklerini birbirleri ile karşılaştırmak, bu malzemelere alternatif malzemeler üretmek ve malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını belirlemek amacıyla literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmada (Öz, 2021), nanokompozit malzemenin süzülme eşiğini belirlemek amacıyla bir süreklilik modeli sunmuştur. Modelde nanokompozitin hem nanodolgu maddesi hem de polimer matris aşamalarını da hesaba katarak belirlenmiştir. Deneysel veriler ile modelin karşılaştırdığı çalışmada, havacılık uygulamaları için faydalı olan nanokompozitlerin davranışının çalışmadan belirtilen metodoloji ile

modellenebileceğini gösterilmiştir. Baladin ve arkadaşları (2008) tek katmanlı grafinin termal iletkenliğine ilişkin deneysel bir çalışma yapmışlardır. Temassız optik tabanlı bir teknik kullandıkları bu çalışmada, oda sıcaklığında grafinin $5,30 \times 10^3$ W/mK'ye kadar olağanüstü yüksek termal iletkenlik gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir. Cheng ve Ting (2002) tarafından yapılan çalışmada, buharla büyütülen karbon fibere (Vapor Grown Carbon Fiber, VGCF) dayalı epoksi kompozitler üretilmiş ve malzemenin oda sıcaklığında termofiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda polimer matrisli kompozitlerin termal iletkenliği 695 W/mK olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, polimer malzemenin termal genleşme katsayısı VGCF'nin dâhil edilmesiyle azaldığı ve kompozit malzemenin oda sıcaklığındaki ısıl iletkenliğinin 1260 W/m K olduğu tahmin edilmiştir. Afanasov ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırılmış genişletilmiş grafit(EG)'in termofiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlara göre termal iletkenlik katsayısı ve elastisite modülü için hesaplanan EG'nin kritik yoğunluk değerleri 0.01 ve 0.005 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca %58'lik sulu nitrik asit çözeltisi EG'nin daha düşük bir termal iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Gaxiola ve arkadaşları (2009) polipropilen reçineye karbon siyahı, sentetik grafit parçacıkları ve karbon nanotüpler olmak üzere üç farklı madde ekleyerek elde ettikleri kompozit malzemeleri elektrik direnci açısından test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre farklı dolgu kompozit malzemelerin elektrik direncini artırmada istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Yu ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, bir dizi hibrit grafit nano doldurucu hazırlamak için tek yönlü dizilmiş tek duvarlı karbon nanotüplerini (SWNT) ve iki boyutlu dizilmiş grafit nanoplakalarını (GNP) birleştirerek termal performans incelemesi yapmışlardır. Epoksi kompozitlerin termal iletkenliği özelinde, belirli dolgu yüklemelerinde, GNP'ler ve SWNT'ler arasında uyumlu bir etki gözlemlenmiştir. Yapmış oldukları çalışmaların neticesinde hibrit bileşimin, saf GNP veya saf SWNT dolgu maddeleri kullanan kompozitlerden daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır. Karbon dolgu malzeme ve grafit özelinde yapılan çalışmalara bir diğer örnek ise Hauser ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmada karbon dolgu maddelerinin (karbon siyahı, sentetik grafit parçacıkları ve karbon fiber) kompozit termal iletkenlik üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçlara göre, üç malzeme arasında termal iletkenlik açısından en etkili malzeme sentetik grafit olduğu görülmüştür. Bununla beraber, karbon siyahı ve sentetik grafitin bir kompozitte birleştirilmesi ile elde edilen yeni kompozit malzemenin termal iletkenliği, her bir malzemenin tek başına gösterdiği termal iletkenlikten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Choi ve arkadaşları (2005) tarafından VGCF malzemesi kullanılarak yapılan çalışmada ise kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmek için polimer matrisle olası takviyeler dikkate alınmıştır. Çalışma elde edilen bulgu; kompozitlerin termal analizi sonucunda, VGCF'lerin polikarbonat matrisinin termal ayrışmasını geciktirdiği düşük maliyetli olması özelliğinden dolayı kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek için polimerlerde dolgu maddesi olarak da kullanıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, yukarıda verilen bilimsel çalışmalar baz alınarak aviyonik kutuların ısıl kontrolü için farklı elektriksel ve termal özelliklerin ölçüleceği bir adet aday nanokompozit malzemelerin termal analizi gerçekleştirmek ve hâlihazırda kullanılan alüminyum malzemelerin ısıl karakterizasyon özellikleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda aviyonik kutuların imalatında kullanılan alüminyum ve nanokompozit malzemelerin termal analizleri yapılarak soğutma etkileri karşılaştırılacaktır. Söz konusu yeni nesil katkılı polimer malzemelerin aviyonik kutularda kullanımı için model teşkil edecek malzeme karakterizasyonu planlanması mümkün kılınacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada mevcutta alüminyum malzemedan imal edilen şasi ile polimer kompozit malzemedan üretilen aviyonik şasinin ısı iletim değerleri ve sıcaklık çıktıları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) yazılımı olan ABAQUS CAE programından yararlanılmıştır.

a. Deney Tasarımı ve Kabuller

Bu çalışmada yapılan analizde aviyonik sistem muhafazası için hâlihazırda kullanılan 6061 alaşımlı alüminyum ve kullanılması öngörülen nanokatılandırılmış kompozit kıyaslanmıştır. İhtiyaç duyulan şasi 20x20x40 cm³ boyutlarında, harici bir soğutma sistemine ihtiyaç duyan bir şasidir.

Bu çalışmada soğutma sistemi olarak termoelektrik soğutuculardan faydalanılmıştır. Termoelektrik soğutucular, buhar sıkıştırırmalı soğutmaya oranla daha az kullanım alanına sahiptir. Termoelektrik soğutucu, diğer soğutma sistemleri ile kıyaslandığında başlıca avantajları, hareketli ekipmanların veya dolaşan soğutucu akışkanın olmaması, çok daha uzun ömür vaatmesi, küçük olan boyutu ve esnek olan yapısıdır. Mekanik soğutucular (fan veya soğutma çevrimi ile çalışan klima benzeri sistemler) yüksek arıza be bakım ihtiyaçlarından ötürü hava araçlarında tercih edilmemektedir. Dolayısıyla yapılan analizde termoelektrik soğutma sistemi tercih edilmiştir.

Analiz koşulları tasarlanırken malzeme değişiminin ısıl performans etkisini kıyaslayabilmek adına iki ayrı adımda analiz yapılmıştır. Bunlar;

1. Homojen ısıl yük dağılımlı kıyaslama,
2. Homojen olmayan ısı dağılımlı kıyaslama,

Şasinin dış ortam sıcaklığı hava aracının farklı konumlarına göre değişkenlik göstereceği için çeşitli olacak şekilde kurgulanmıştır. Bu sıcaklıklar hava aracının maruz kalacağı en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasında tayin edilmiştir. Sıcaklıklar belirlenirken; hava aracının yaz aylarında taksii halinde yüksek dış sıcaklık koşullarına maruz kaldığı koşul ile kış aylarında yüksek irtifalarda maruz kaldığı düşük sıcaklık seviyeleri göz önüne alınmıştır. Analizde aviyonik şasinin maruz kaldığı dış ortam sıcaklıkları için sırasıyla; -25°C, 0°C, 25°C, 50°C ve 75°C için analizler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Analizde değerlerin gerçeği yansıtması açısından ısı transferinde kararsız hal (transient) kabulü yapılmıştır. Ayrıca şasi içerisindeki ısıl yüke sebep olan elemanların homojen şekilde dağıldığı kabulü üzerine ilerlenmiştir. Dolayısıyla şasinin iç duvarlarının eşit ısı akısına maruz kaldığı kabulü yapılabilir.

Isı transferi simülasyonu yapılacak olan ABAQUS CAE programı termal problemler için aşağıdaki genel denklemi çözerek analizi sonuçlandırmaktadır;

$$\int \delta\theta \left[\rho c \left\{ \frac{\partial\theta}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} \right\} - \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \cdot \left(\mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} \right) - q \right] dV + \int S_q \delta\theta \left[\mathbf{n} \cdot \mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} - q_s \right] dS = 0 \quad (1)$$

Burada, $\theta(x,t)$ bir noktadaki zamana bağlı sıcaklık, $\delta\theta(x,t)$ zamana bağlı herhangi bir değişken alan, $\rho(\theta)$ akışkan yoğunluğu, $c(\theta)$ akışkanın özgül ısı, $\mathbf{k}(\theta)$ akışkanın ısı iletkenliği, q dış kaynaklardan birim hacim başına eklenen ısıdır. q_s sıcaklığın belirtilmediği (S_q) yüzeyi boyunca hacmin maruz kaldığı ısı, \mathbf{n} yüzeyden dışarı yöndeki normal vektörü, \mathbf{x} uzamsal konum ve t zaman, \mathbf{v} akışkanın hızıdır (Abaqus Theory Manual).

Yapılan deneyde akışkan hızı sıfıra çok yakın bir değer olduğu için $\mathbf{v}=0$ kabulü yapılmıştır. Dolayısıyla çözülecek nihai denklem;

$$\int S_q \delta\theta \left[\mathbf{n} \cdot \mathbf{k} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial \mathbf{x}} - q_s \right] dS = 0 \quad (2)$$

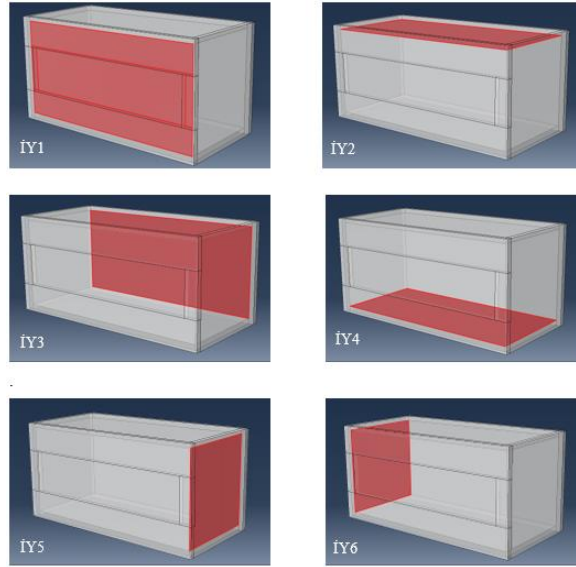
halini almaktadır.

Analizler ısı transferinin kararlı hale (Steady-State) ulaştığı sıcaklıklar için yapılmıştır. Kararlı hal; ısı transferinin neredeyse sıfır olduğu, dolayısıyla zamana bağlı sıcaklık değişiminin sıfır kabul edildiği an olarak nitelendirilebilir. Kararlı hal durumundan sonra sıcaklık değişimi olmayacağı için analizlerde en gerçekçi sonucu elde etmek için analizlerin, kararlı hal durumunu baz alarak yapılması gerekmektedir. Tablo 2.1 elde edilen tüm veriler ışığında analiz yapılacak malzemelerin verilerini göstermektedir.

Tablo 2.1 Analize giren olan malzemelerin termal ve mekanik değerleri (**Table 2.1** Thermal and mechanical values of the analyzed materials)

Malzeme	Alüminyum	VGCF
Yoğunluk (ρ)	2700 kg/m ³	1480 kg/m ³
Isı Transfer Katsayısı (\mathbf{k})	150 W/mK	695 W/mK
Özgül Isı (c_p)	921 J/kgK	700 J/kgK
Isı oluşumu	1000 W	1000 W
Termoelektrik Soğutucu Kapasitesi	800 W	800 W
Boyutlar	200 x 200 x 400 mm ³	200 x 200 x 400 mm ³
Kutu et kalınlığı	10 mm	10 mm

Kurgunun net bir şekilde anlaşılması açısından kutunun yüzeylerine isim vermek gereklidir. Bilindiği üzere dikdörtgen prizma şeklindeki kutunun iç kısımda 6, dış kısımda da 6 adet yüzeyi bulunmaktadır. Bundan sonraki aşamalarda kolaylık olması açısından bu yüzeylerden bahsederken yüzeylere aşağıdaki gibi isim verilecektir;



Şekil 2.1. Analize girecek aviyonik kutunun yüzeylerinin isimlendirilmesi (Figure 2.1. Name of avionics box surfaces that will be analyzed)

Şekil 2.1’de belirtilen İY kısaltmaları İç Yüzeyi ifade ederken aynı yüzeyin dış ortama bakan yüzeyini ifade etmek için ise DY (Dış Yüzey) ifadesi kullanılacaktır. Dolayısıyla Şekil 2.1’de belirtilen

- İY1: İç Yüzey 1’i; DY1: İY1’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY2: İç Yüzey 2’i; DY2: İY2’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY3: İç Yüzey 3’i; DY3: İY3’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY4: İç Yüzey 4’i; DY4: İY4’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY5: İç Yüzey 5’i; DY5: İY5’in dış ortama bakan yüzeyi,
- İY6: İç Yüzey 6’i; DY6: İY6’in dış ortama bakan yüzeyi temsil etmektedir.

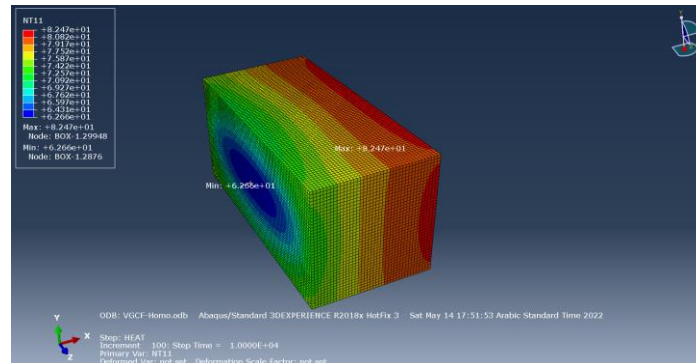
Örnek verecek olursak İY2 kutunun iç kısım tavan yüzeyini ifade ederken DY2 ise kutunun dış kısım üst yüzeyini belirtmek için kullanılacaktır.

3. Analiz Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında Tablo 2.1’de belirtilen veriler doğrultusunda analiz işlemlerine başlanmıştır. Aviyonik şasi gövdesinde içerisinde barındırdığı kablolama, işlemci, anakart vb. elemanlardan kaynaklı 1000 Watt’lık ısı üretimi olmaktadır. Bu ısı oluşumu, kutunun duvarlarından doğal taşınımlı ısı transferi ile ve 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu ile kutunun dışarısına atılmaktadır.

3.1. Homojen Isıl Yük Dağılımlı Kıyaslama

Analizin bu aşamasında 1000 W kapasitesindeki ısı yük İY1, İY2, İY3, İY4, İY5 ve İY6 üzerinde homojen dağıtılmış ve DY1 üzerine harici bir soğutma ünitesi entegre edilmiştir. Bu sayede şasi sıcaklıklarının istenilen seviyelere düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda şasi dış duvarına $8 \times 31 \text{ cm}^2$ yüzey alanına sahip, 800W soğutma kapasiteli bir termoelektrik soğutucu kullanılmıştır. Epoksi matrisli VGCF nanokompoziti için $60 \text{ }^\circ\text{C}$ dış ortam sıcaklığı koşullarında elde edilen analiz sonucu görseli Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



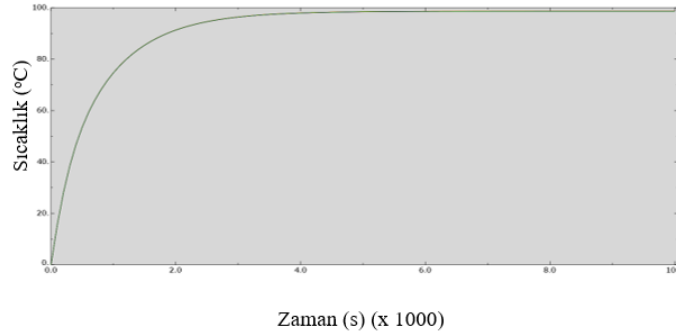
Şekil 3.1 Nanokompozit malzemeden imal edilen aviyonik kutunun $60 \text{ }^\circ\text{C}$ dış ortam koşullarında sıcaklık dağılımı. (Figure 3.1 Temperature distribution at $60 \text{ }^\circ\text{C}$ outer temperature of the avionics box, which is made of nanocomposite material.)

Sırasıyla -25 °C, 0 °C, 25 °C, 50 °C, 60 °C ve 75 °C dış ortam sıcaklıkları için yapılan sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme sürelerini gösteren analizlerin sonuçları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

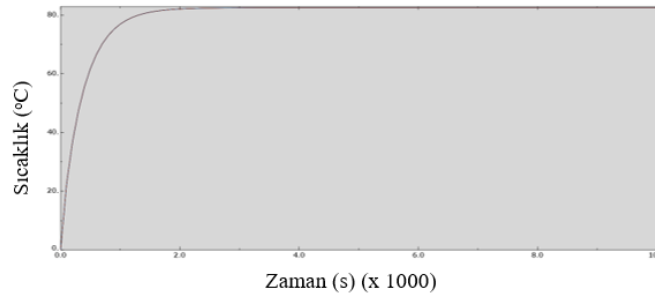
Tablo 3.1. Homojen ısı dağılımlı şartlar altında alüminyum ve nanokompozit materyalden üretilen kutularda oluşan en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme süreleri (**Table 3.1** The highest temperature and the time to reach this temperature in boxes produced from aluminum and nanocomposite materials under homogeneous heat distribution conditions.)

Dış Ortam Sıcaklığı	Alüminyum		VGCF	
	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)
-25 °C	18,8	6000	2,1	2500
0 °C	42,4	5900	25,4	2400
25 °C	65,7	5900	49,1	3000
50 °C	89,3	5600	72,9	2700
60 °C	98,7	5600	82,5	2700
75 °C	112,9	5700	96,8	2800

Tablo incelendiğinde kutunun maruz kaldığı en yüksek sıcaklık olan 75 °C için alüminyum kutu en yüksek 112,9 °C, nanokompozit malzemeden imal edilen kutu en yüksek 96,8 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Kararlı hal sıcaklıklarını irdelediğimizde ise yine 75 °C dış ortam sıcaklığı için alüminyumdan imal edilen malzeme kararlı hal sıcaklığına 5700 saniyede erişirken nanokompozit malzemeden üretilen kutu kararlı hale 2800 saniye mertebelerinde ulaşmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de şasinin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.2 60 °C dış ortam sıcaklığı koşulunda Alüminyum malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.2** Temperature/Time graph of the hottest point of Aluminum material at 60 °C outer temperature condition.)

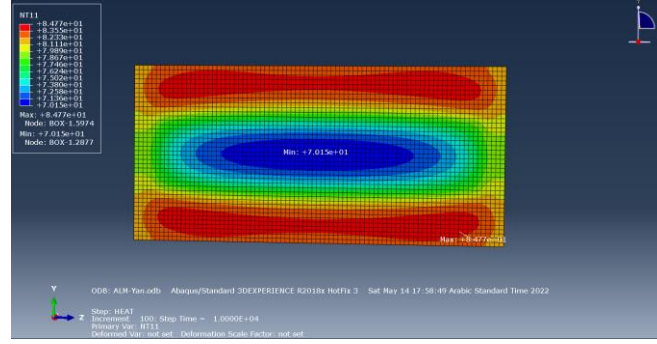


Şekil 3.3 60 °C dış ortam sıcaklığı koşulunda epoksi matrisli VGCF malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.3** Temperature/Time graph of the hottest point of Epoxy Matrix VGCF material at 60 °C outer temperature condition.)

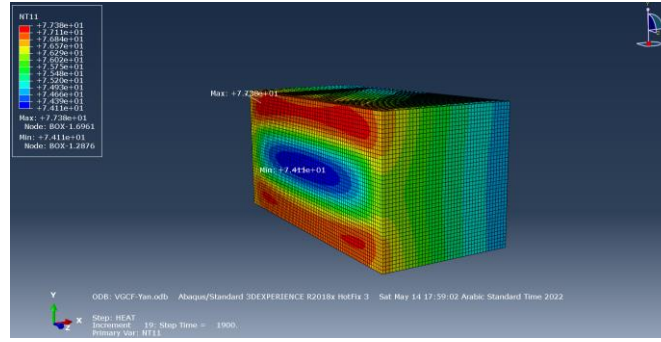
3.2. Homojen Olmayan Isı Dağılımlı Kıyaslama

6061 alaşımlı alüminyum malzeme ile epoksi matrisli VGCF nanokompozitinin kıyaslandığı analizlerin ikinci aşaması ise ısı yük dağılımının tek bir duvarda toplandığı ve harici bir soğutma sisteminin kullanıldığı koşul olmuştur. İlk aşamada kutu iç yüzeylerine homojen olarak dağıtılan 1000 W kapasiteli ısı yük, yalnızca İY1 üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ayrıca yine ilk aşamadaki gibi yine 8 x

31 cm² boyutlarında 800W soğutma kapasiteli termoelektrik soğutucu entegrasyonu söz konusudur. Bu doğrultuda 60 °C dış ortam sıcaklığı için yapılan analiz sonuçlarını gösteren görseller alüminyum malzemeden imal edilen kutu için Şekil 3.4’de, nanokompozit malzemeden imal edilen kutu için Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Isıl yükün tek duvara yüklendiği koşullarda alüminyum malzemeden imal edilen aviyonik kutunun 60 °C dış ortam şartlarındaki analiz sonucu. (Figure 3.4 The analysis result of the avionic box made of aluminum material in 60 °C outdoor conditions where the thermal load is loaded on a single wall.)

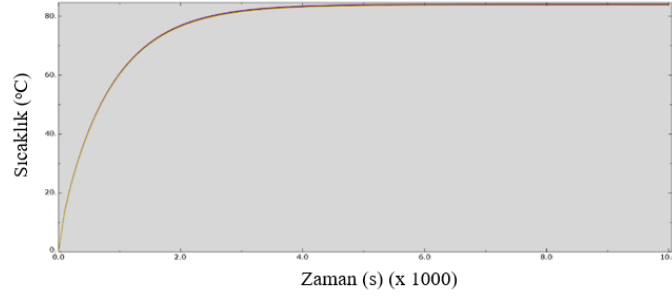


Şekil 3.5 Isıl yükün tek duvara yüklendiği koşullarda nanokompozit malzemeden imal edilen aviyonik kutunun 60 °C dış ortam şartlarındaki analiz sonucu. (Figure 3.5 The analysis result of the avionic box made of nanocomposite material in 60 °C outdoor conditions where the thermal load is loaded on a single wall.)

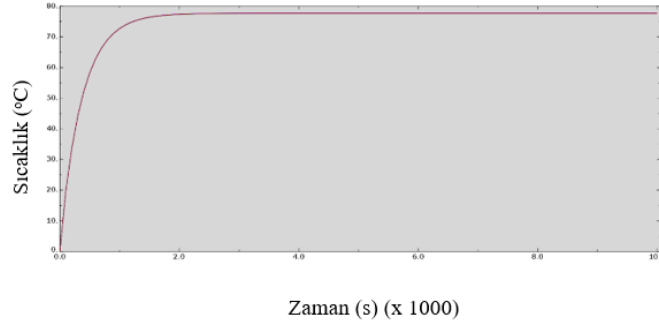
Tablo 3.2. Homojen olmayan ısı dağılımlı şartlar altında alüminyum ve nanokompozit materyalden üretilen kutularda oluşan en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığa erişme süreleri. (Table 3.2 The highest temperature and the time to reach this temperature in boxes produced from aluminum and nanocomposite materials under nonhomogeneous heat distribution conditions.)

Dış Ortam Sıcaklığı	Aluminum		VGCF	
	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)	Kararlı Hal Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal İçin Geçen Süre (s)
-25 °C	4,5	6200	-3,3	3100
0 °C	27,8	5900	21,3	2700
25 °C	51,3	5800	44,7	2800
50 °C	75,2	5900	68,2	2600
60 °C	84,7	6100	77,8	2300
75 °C	99,1	6900	92,2	2500

60 °C dış ortam sıcaklığı koşullarında yapılan analiz sonucunda alüminyum ve nanokompozit malzemelerin en yüksek sıcaklık değerine sahip nokta için elde edilen Sıcaklık/Zaman grafikleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Isıl yükün tek duvarda toplanması koşulunda 60 °C dış ortam sıcaklığında Alüminyum malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.6** Temperature/Time graph of the hottest point of Aluminum material at 60 °C outer temperature condition where heat load concentrated on a single wall.)



Şekil 3.7. Isıl yükün tek duvarda toplanması koşulunda 60 oC dış ortam sıcaklığında nanokompozit malzemenin en sıcak noktasının Sıcaklık/Zaman grafiği. (**Figure 3.7.** Temperature/Time graph of the hottest point of nanocomposite material at 60 oC outer temperature condition where heat load concentrated on a single wall.)

3.3. Termoelektrik Soğutucu Verim Analizi

Analizlerin önceki aşamalarında 6061 alaşımlı alüminyum ve epoksi matrisli VGCF nanokompozitinin 800 W kapasiteli termoelektrik soğutucu kullanılması durumunda sıcaklık değerleri açısından karşılaştırmaları yapılmıştı. Yapılan analizler, nanokompozit malzemenin her koşul için daha düşük sıcaklık çıktılarını sağladığını göstermektedir. Analizin bu aşamasında alüminyum malzemenin, 75 °C dış ortam koşullarında nanokompozit malzemenin sıcaklık sonuçları ile aynı sonucu verebilmesi için kaç W kapasitesinde termoelektrik soğutucu kullanılması gerektiği hesaplanacaktır.

Bilindiği gibi analizler iki ana kıyas üzerine yapılmıştır. Bunlar;

- Homojen ısı yük dağılımlı kıyaslama
- Homojen olmayan (Tek duvara yoğunlaştırılmış) ısı dağılımlı kıyaslama

75 °C dış ortam koşullarında Nanokompozit malzemeden imal edilen kutuda ilk durum için en yüksek 96,8 °C sıcaklığa ulaşıldığı sonucunu elde edildi. Aynı şartlarda alüminyum malzeme 112,9 °C sıcaklık sonunu sağlamıştı. Analizin ilk kısmında alüminyum malzemenin en yüksek 96,8 °C sıcaklık değerine ulaşması için gereken soğutucu kapasitesi hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda 1100 W kapasiteli bir termoelektrik soğutucu gerekliliği belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise ısı yükün tek duvarda yoğunlaştırıldığı durum için analizlere devam edilmiştir. 75 °C dış ortam koşullarında nanokompozit malzemeden imal edilen kutuda ilk durum için en yüksek olan 92,2 °C sıcaklığa ulaşıldığı sonucu elde edildi. Aynı şartlarda alüminyum malzeme 99,1 °C sıcaklık sonunu sağlamıştı. Alüminyum malzemeden imal edilen kutuda sıcaklık değerinin en fazla 92,2 °C olması için kullanılması gereken termoelektrik soğutucu kapasitesi 870 W olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Nanokompozit malzeme ile aynı sıcaklık değerine ulaşmak için alüminyum kutuda kullanılması gereken soğutucu kapasiteleri (**Table 3.5** Cooling capacities that must be used in the aluminum box to reach the same temperature value as the nanocomposite material)

	Ulaşılması istenilen en yüksek sıcaklık	Alüminyum	VGCF
		Soğutucu kapasitesi (W)	Soğutucu kapasitesi (W)
Homojen ısı yük dağılımlı kıyaslama	96,8 °C	1100	800
Tek duvara yoğunlaştırılmış ısı dağılımlı kıyaslama	92,2 °C	870	800

4. Sonuç

Hava araçlarının kritik parçalarından biri olan aviyonik kutuların soğutulmasının ele alındığı bu çalışmada, kutular içerisinde gerçekleşen işlem esnasında kablolama, işlemci, dış ortam sıcaklığı gibi ısı yüklerine maruz kalan aviyonik kutuların üretiminde kullanılan malzemeleri termal karakterizasyonu incelenmiştir. Farklı aşamalar için 75 °C dış ortam şartlarında yapılan incelemede elde edilen sonuçlar dikkate alındığında;

- Kutu içerisindeki ısının homojen olarak dağıldığı durumda alüminyum kutuda en yüksek sıcaklık 112,9 °C iken nanokompozit malzemede bu değer 96,8 °C olmuştur. Ayrıca bu sıcaklıklara erişmek için geçen süreyi kıyasladığımızda alüminyum 5700 saniyede kararlı hal sıcaklığına ulaşırken VGCF nanokompoziti kararlı hal sıcaklığına 2800 saniyede ulaşmıştır.
- Kutu içerisindeki ısı dağılımının tek duvarda yoğunlaştırıldığı koşulda ise alüminyum kutuda en yüksek sıcaklık 99,1 °C seviyelerinde iken bu değer nanokompozit malzemede 92,2 °C seviyelerine düşmektedir. Yine bu iki malzemenin kararlı hal sıcaklıklarına ulaşma sürelerini incelediğimizde alüminyum malzeme 6900 saniyede 99,1 °C sıcaklığa erişirken nanokompozit malzeme 2500 saniyede 92,2 °C sıcaklığa erişmiştir.
- Analizin son aşamasında alüminyum malzemenin sıcaklık değerlerinin nanokompozit malzeme ile aynı seviyede olması için kullanılması gereken termoelektrik soğutucu kapasiteleri irdelenmiştir. Homojen ısı dağılımlı durumda alüminyum malzemenin imal edilen kutunun üzerinde en yüksek 96,8 °C sıcaklık değerini elde etmek için 800 W kapasitesindeki soğutucu yerine 1100 W kapasitesindeki soğutucu kullanılması gerektiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak ısı dağılımının homojen olmadığı durumda ise alüminyumdan imal edilen kutudaki en yüksek sıcaklığın 92,2 °C olması için 800 W kapasiteli soğutucu 900 W kapasitesindeki soğutucu ile değiştirilmesi gerekir.

Bu sonuçlar doğrultusunda aviyonik kutuların imalatında yalnızca malzeme değişimi ile sıcaklıktaki azalma miktarı yaklaşık olarak 14°C olduğu ve %14,3 oranında bir iyileştirme sağlandığı görülmüştür. Ayrıca alüminyum yerine nanokompozit malzeme tercih edilmesinin %12,5 seviyelerinde bir enerji verimliliğini beraberinde getirebileceği belirlenmiştir. Böylece aviyonik kutuların imalatında nanokompozit malzemenin kullanılması daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Analiz çalışmalarında gerekli verileri sunan ve analizleri çalıştırma ortamını sağlayan Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.'ye ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Yahya ÖZ'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- White S. R., Mather P. T., and Smith M. J., Polym. Characterization of the cure-state of DGEBA-DDS epoxy using ultrasonic, dynamic mechanical, and thermal probes, Eng. Sci. 42 (2002) 51-67.
- Rosero J. A., Ortega J. Aldabas A., E. and Romeral L., Moving towards a more electrical aircraft, IEEE A&E Systems Magazine, pp. 3-9, 2007.
- ATR Chassis For Conduction-Cooled VME Boards (<https://www.readkong.com/>)
- Öz Y., Journal of Physics: A Mathematical Model for the Description of the Electrical Conductivity of Graphene/Polymer Nanocomposites, Conference Series 1730 (2021): 012112
- e-ISSN: 2148-2683

- Balandin A. A., Ghosh S., Bao W., Calizo I., Teweldebrhan D., Miao F., and Lau C. N., Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene, *Nano Lett.* 8 (2008) 902-907.
- Chen Y. M., and Ting J. M., Ultra High Thermal Conductivity Polymer Composites *Carbon* 40 (2002): 359-362
- Afanasov I. M., Savchenko D. V., Ionov S. G., Rusakov D. A., Seleznev A. N., and Avdeev V. V., Thermal Conductivity and Mechanical Properties of Expanded Graphite, *Inorganic Materials* 45 (2009) 486-490.
- Gaxiola D. L., Keith J. M., King J. A., and Johnson B. A., Electrical conductivity of carbon-filled polypropylene-based resins, *J. Appl. Polym. Sci.* 114 (2009) 3261-3267.
- Yu A., Ramesh P., Sun X., Bekyarova E., Itkis M. E., and Haddon R. C., Enhanced Thermal Conductivity in a Hybrid Graphite Nanoplatelet – Carbon Nanotube Filler for Epoxy Composites, *Advanced Materials* 20 (2008) 4740-4744.
- Hauser R. A., King J. A., Pagel R. M., and Keith, J. M. Effects of carbon fillers on the thermal conductivity of highly filled liquid-crystal polymer based resins, *J. Appl. Polym. Sci.* 109 (2008) 2145-2155.
- Choi Y. K., Sugimoto K. I., Song S. M., Endo M., Mechanical and Thermal Properties of Vapor-Grown Carbon Nanofiber and Polycarbonate Composite Sheets, *Materials Letters* 59 (2005) 3514 – 3520
- ABAQUS Theory Manual
(<https://classes.engineering.wustl.edu>)
- Pradhan N. R., Duan H., Liang J. and Iannacchio G. S., The Specific Heat and Effective Thermal Conductivity of Composites Containing Single-Wall and Multi-Wall Carbon Nanotubes, *Nanotechnology* 20 (2009): 245705
- Aviyonik ve Seyrüsefer Sistemler,
ASELSAN(<https://www.aselsan.com.tr/>)
ThermoTEC 170 Series 5500 BTU Thermoelectric Air Conditioning, EIC Solutions (www.eicsolutions.com)
- Riahi M. & Nazari, H. Analysis of transient temperature and residual thermal stresses in friction stir welding of aluminum alloy 6061-T6 via numerical simulation, Springer-Verlag London Limited, 2010.
- Öz Y., Yilmaz B., and Evis Z., A Review on Nanocomposites with Graphene Based Fillers in Poly(ether ether ketone), *Polymer Science, Series A* 64 (2022)
- Chung D. D. L.. *Materials for Thermal Conduction. Applied Thermal Engineering.* 21(16):1593-1605, November 2001.
- Ma A., Chen W., Hou Y., and Zhang G., The Preparation and Cure Kinetics Researches of Thermal Conductivity Epoxy/AlN Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 49 (2010): 354-358.
- Gaska K., Rybak A., Kapusta C., Sekula R., and Siwek A., Enhanced Thermal Conductivity of Epoxy–Matrix Composites with Hybrid Fillers *Polymer Advanced Technologies* 26 (2015) 26-31.
- Tibbetts G.G., Gorkiewicz D.W., Hammond D.C. Jr. , Apparatus for Forming Carbon Fibers. U.S.patent, No. 5 024 (1991) 818.
- Koyama T., Formation of Carbon Fibers from Benzene, *Carbon* 10 (1972) 757– 758.
- Koyama T., Endo M., Structure and Growth Processes of Vapor-Grown Carbon Fibers, *Ohyo Butsuri* 42 (1973) 690.
- Tibbetts G.G., Endo M., Beetz C.P. Jr. , Carbon Fibres Grown from the Vapor Phase: a Novel Material, *SAMPLE Journal*, 1986 September/- October, pp. 30– 35.
- Tibbetts G.G., Growing Carbon Fibers with a Linearly Increasing Temperature Sweep: Experiments and Modeling, *Carbon* 30 (1992) 399– 406.
- Beck S., How to Apply Advanced Composites Technology, *Proceedings of the Fourth Annual Conference on Advanced Composites*, ASM International Congress, Dearborn, MI, USA, 1988, pp. 463–473.