

Araştırma Makalesi / Research Article

Ağır Hizmet Araçlarının Kabin İçi İzolasyonunda Kullanılmak Üzere Geliştirilen Hibrit Kompozitlerin Termal ve Akustik Performanslarının İncelenmesi

Sena ARSLAN ATMACA^{1*}, Öznur İSKENDER², Tuğay SEVİNÇ³

^{1*} Formfleks Otomotiv A.Ş., Bursa, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-2806-2656>, sena.arslan@ff-rd.com

² Formfleks Otomotiv A.Ş., Bursa, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0858-6201>, oznur.iskender@ff-rd.com

³ Formfleks Otomotiv A.Ş., Bursa, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-5105-0226>, tugay.sevinc@ff-rd.com

Geliş/ Received: 07.10.2024;

Revize/Revised: 11.11.2024

Kabul / Accepted: 04.12.2024

ÖZET: Kamyon, tır vb. ağır hizmet araçlarında sürüş konforunu artırmak ve motor bölgesinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın kabin içerisine geçişini engellemek amacıyla, kompozit yapılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kamyon, tır vb. gibi ağır hizmet araçlarında, motor bölgesinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın ortamlar arası geçişini engelleyip, kabin içi sürüş konforu sağlamak üzere, ses ve darbe izolasyonu sağlamakla görevli alt ve üst katmanda fenolik keçe, akustik ve termal dayanımı arttırmakla görevli ara katmanda aerojel, seramik kumaş, cam kumaş ve kombinasyonları kullanılarak düz kalıpta, 185 °C sıcaklıkta ve 170 bar basınç altında hibrit kompozit yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların empedans tüpünde ses yutum katsayıları, ısı iletkenlik ölçüm cihazında ısı iletkenlik katsayıları ölçülerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Akustik performans test sonuçları incelendiğinde, geniş frekans aralığında kararlı bir ses yutum performansı gösteren hibrit kompozit yapının ısı üreten yapıya bakacak yönde iki kaplama telası arası fenolik keçe, cam kumaş, toz formda aerojel ve fenolik keçe içeren malzeme kompozisyonu 5 olduğu tespit edilmiştir. Termal izolasyon performansı en yüksek hibrit kompozit yapının ise sırayla, iki kaplama telası arası fenolik keçe, toz formda aerojel ve fenolik keçe içeren malzeme kompozisyonu 3 ve iki kaplama telası arası fenolik keçe, cam kumaş, toz formda aerojel ve fenolik keçe içeren malzeme kompozisyonu 5 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler göz önüne alındığında hem akustik hem de termal izolasyon performansını bir arada sunabilecek kompozit yapı malzeme kompozisyonu 5 ile sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl iletkenlik, Akustik, Kompozit, Yalıtım malzemesi, Aerojel

Sorumlu yazar / Corresponding author: sena.arslan@ff-rd.com

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Arslan Atmaca, S., İskender, Ö., Sevinç, T. (2024). Ağır Hizmet Araçlarının Kabin İçi İzolasyonunda Kullanılmak Üzere Geliştirilen Hibrit Kompozitlerin Termal ve Akustik Performanslarının İncelenmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 5(2), 354-368.

Investigation of Thermal and Acoustic Performance of Hybrid Composites Developed to be Used in Cabin Insulation of Heavy-Duty Vehicles

ABSTRACT: Composite structures are used in heavy-duty vehicles, such as trucks and lorries, to improve driving comfort by reducing noise and heat transmission from the engine compartment into the passenger area. This study develops such structures using phenolic felt in the upper and lower layers for sound and impact insulation, with aerogel, ceramic fabric, and glass fabric in the intermediate layer to enhance acoustic and thermal resistance. The composite structures were fabricated using a flat mold at 185 °C and 170 bar pressure, employing glass fabric and various combinations of materials. Their sound absorption coefficients were measured with an impedance tube, and thermal conductivity coefficients were determined using a thermal conductivity meter. The results were then compared for performance evaluation. The results showed that hybrid composite structure 5, which included phenolic felt, glass fabric, aerogel powder, and phenolic felt between two coating interlinings, achieved stable sound absorption across a wide frequency range. Additionally, structure 3, made with phenolic felt and aerogel powder, offered the best thermal insulation. Structure 5 was also identified as a promising option for providing both acoustic and thermal insulation benefits. Overall, the study demonstrates that composite structures can effectively enhance both acoustic and thermal insulation in heavy-duty vehicles, contributing to improve in-cabin comfort.

Keywords: Thermal conductivity, Acoustic, Composite, Insulation material, Aerogel

1. GİRİŞ

Dünya genelindeki ağır CO₂ emisyon yönetmeliklerinden kaynaklı, otomotiv endüstrisinde önemli ölçüde ağırlık azaltılması ihtiyacı oluşmaktadır (European Environment Agency, 2018). Araç ağırlığındaki %10'luk bir azalmanın yakıt ekonomisinde %6-8 oranında iyileşme sağladığı da görülmüştür (Kazan, 2019). Son zamanlarda, gelişen teknoloji ve teknik ile araç performansını ve yakıt verimliliğini artırırken, yayılan emisyonu en aza indirmek, araç içi kabinlerde gürültü ve ısı izolasyonu sağlayarak sürücü ve yolcuların iç mekân konforunu artırıp, sürüş deneyimini iyileştirmek gibi pek çok hedefe, düşük üretim maliyetleriyle ulaşmayı sağlayacak araştırma geliştirme faaliyetlerine ağırlık verilmiştir (Ahmed, 2023; Keskin, 2023). Bu çalışmalar doğrultusunda, amaca uygun özellikleri barındıran, birden fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin kullanımı da hızla yaygınlaşmıştır.

Kompozit malzemeler, makroskobik düzeyde bir araya getirilmiş ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşan yapı malzemeleridir (Kaw, 2005). Kompozit malzemeler, bileşenlerde tek başına olmayan mukavemet, hafiflik, estetik, termal dayanım ve akustik performans gibi özelliklerin geliştirilmesi ve bir araya getirilmesi amacıyla elde edilmektedir (Danyıldız, 2023). Kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde kullanımı ise, araçların tasarımında kolaylık sağlaması, çevreci olması ile 80 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır (Ağırhan, 2024). Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunduğu kompozitlere ise hibrid kompozitler denilmektedir (Göz, 2016). Hibrit kompozitlerin, tek malzemeli kompozitlere oranla daha iyi özellik kombinasyonu sunduğundan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine en uygun kompozit sınıfı olduğu düşünülmektedir. Ancak, kullanılacak olan kompozit malzemenin kalınlığıyla ilgili belirli sınırlamalar bulunmaktadır. Buna ek olarak, aracın hızı ve sürüş koşullarıyla değişkenlik gösteren

gürültü miktarı kontrolünün de kalınlığı azaltılmış hafif malzemeler ile etkin bir şekilde sağlanması gerekmektedir. (Nayak ve Padhye, 2016).

Gelişen teknoloji ile üretimi ve kullanımı yaygınlaşan elektrikli araçlarda, tahrik sistemi olarak kullanılan elektrik motorları, fosil yakıtla çalışan günümüz araçlarındaki içten yanmalı motorlara göre farklı termal ve akustik izolasyon ihtiyaçlarına sahiptir. İçten yanmalı motorlarda, gürültü frekans dağılımı düşük frekanslarda (100-1500 Hz) yoğunlaşırken; elektrik motorlarında bu yoğunlaşma yüksek frekans bandında (1250-6000 Hz) gerçekleşmektedir. Akustik banttaki bu değişim, elektrikli araçlarda bambaşka akustik izolasyon ihtiyaçlarını da beraberinde getirmektedir (Karabulut, 2022). Akustik performansı iyileştirmeye yönelik olarak literatürde yapılan bir çalışmada, araç kabinlerinde gürültü seviyesini azaltmak üzere, özellikle 2000-6300 Hz aralığında ses yutumu katsayısı (α) 1 değerine yakın olan, dıştan içe doğru iki kaplama telası arasında PP/GF, PE film, taş yünü içeren bir kompozit sandviç yapı ortaya koyulmuştur (Aydın ve ark., 2024). Elektrikli araçlarda (EV), bataryaların konumlandırıldığı batarya muhafazalarında, termal ve mekanik özelliklerin yanı sıra hafiflik sağlamak üzere, alüminyuma alternatif olarak polimer kompozit malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Cebe ve İrez, 2024). Elektrikli araç (EV) batarya muhafazalarında kullanılmak üzere, hem elektromanyetik girişim (EMI) koruma hem de termal yalıtım sağlama kapasitesine sahip yeni bir sandviç yapının geliştirildiği çalışmada, yazarlar karbon fiber takviyeli kompozit malzeme üzerine odaklanmışlardır. Çalışma sonucunda, önerilen kompozit malzemenin dış katmanlarında karbon fiber takviyeli kompozit, ara katmanlarda ise bakır kaplı polyster, melamin köpük ve grafit parçacıkları ile zenginleştirilmiş reçine bulunmaktadır (Hu ve ark., 2024).

Termal ve ses izolasyonu sağlamak amacıyla düşük termal iletkenliğe sahip olan, poliüretan köpük, keçe, mineral katkılı malzemeler ve elyaflarla takviye edilmiş polimer malzemeler tek başına veya farklı kombinasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelere ek olarak, havadan bile daha düşük ısı iletim katsayısı değerine sahip olan aerojeller, bu özelliği nedeniyle ısı yalıtım malzemesi olarak çok iyi bir alternatif oluşturmakta ve birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır (Caps ve Fricke, 2004). 21. yüzyılın en ilgi çekici malzemelerinden biri olarak kabul edilen aerojeller, inorganik (metal ve metal oksitler), organik (sentetik polimerler ve biyopolimerler) ve hibrid (organik–inorganik) malzemeler olmak üzere temel olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır (Meti ve ark., 2023). İnorganik aerojeller, genellikle metal oksitlerden ve diğer inorganik malzemelerden özel bir süreçle türetilen malzemeler olarak tanımlanırken (Aegerter ve ark., 2022), organik aerojeller, genellikle polimerlerin süperkritik kurutma yöntemiyle aerjel formuna dönüştürülmesiyle elde edilen özel malzemelerdir. Organik aerojellerin belirgin özellikleri, düşük yoğunluk ve esnek yapıya sahip olmasıdır (Mazraeh-shahi ve ark., 2015). Hibrit aerojeller ise, inorganik ve organik bileşenlerin entegre edilmesiyle oluşturulan özel malzemelerdir (Zuo vd., 2015).

Termal ve akustik yalıtım açısından yüksek performans gösteren gözenekli ve hafif yapılara sahip olan aerojellerin kompozit malzemeler ile birlikte kullanılmasına yönelik literatürde çeşitli çalışmalar yer almaktadır (Karabulut, 2022; Gündoğdu, 2023). Cam lifi/ silika aerjel ve cam lifi/ karbon lifi/ silika aerjel kompozit yapıların ısı yalıtım performanslarının karşılaştırıldığı çalışmada, sandviç termal yalıtım battaniyesi olarak oluşturulan silika aerjel/ cam lifi/ karbon lifi kompozit yapısının, cam lifi/ silika aerjel kompozit yapısına göre daha iyi eğilme mukavemeti ve daha düşük termal iletkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Hung ve ark., 2020). Isı yalıtımı sağlamak üzere, silika-elyaf keçeleri ve silika-aerjel çekirdek tabakasından katmanlı bir sandviç yapıların oluşturulduğu çalışmada, elde edilen bu yapının, otomotiv katalitik konverterleri için termal genişleme matı olarak kullanılacağı varsayılmıştır. Söz konusu çalışma, iki farklı hazırlama sürecini ve karşılaştırılmasını

içermektedir. Sunulan karakterizasyon analizleri, ısı radyasyonunu önlemek için SiC parçacıklarının aerojel çekirdek tabakasına ve ısıtılmış yüzeye yakın konumlandırıldığı yapılarda daha iyi sonuç elde edileceğini göstermiştir (Kawaoka ve ark., 2020). Bir diğer çalışmada, silika aerojel, poliüretan aerojel, poliimid aerojel, silika-poliimid hibrit aerojel, silika-poliüretan hibrit aerojel, poliimid-poliüretan hibrit aerojel ve silika-poliimid-poliüretan hibrit aerojellerin sentezleri gerçekleştirilmiş ve bu aerojellerin toz/ parçacık formda farklı şekillerde otomotiv trim malzemelerine aktarımı sağlanmıştır. Elde edilen yeni aerojel katkılı keçe malzemelerin, termal ve akustik özellikleri hem birbiri ile hem de aerojel içermeyen katmanlı keçe malzemeler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile gözenekliliğin, literatürdeki verilerle uyumlu olarak termal ve akustik özellikleri artırıcı sonuçları gözlemlenmiştir (Karabulut, 2022).

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak kamyon, tır vb. ağır hizmet araçlarında, sürüş konforunu artırmak ve motor bölgesinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın kabin içerisine geçişini engelleyen kompozit sandviç plaka elde edilmesine yönelik, ses ve darbe izolasyonu sağlamakla görevli alt ve üst katmanda fenolik keçe, akustik ve termal dayanımı arttırmakla görevli ara katmanda aerojel, seramik kumaş, cam kumaş ve kombinasyonları kullanılarak hibrit kompozit yapıların oluşturulması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen yapıların oluşturulmasında kullanılan malzeme kombinasyonları, benzer izolasyon malzemelerinin test şartnameleri, maliyet, akustik ve termal izolasyon ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Belirlenen malzemelerin düz bir kalıpta preslenmesiyle sandviç plaka numuneleri elde edilmiştir. Üretilen numunelerin, termal ve akustik performansları, ısı iletkenlik ve empedans tüpü testleriyle değerlendirilmiş ve hedefe yönelik en iyi performansı gösteren malzeme kompozisyonu seçilmiştir. Bu çalışmanın amacı, akustik performanstan ödün vermeden özellikle kamyon, tır gibi ağır hizmet araçlarının motor boşluk bölgelerinde oluşan yüksek ısının kabin içerisine transferini engelleyen ve bu sayede kabin içi iklimlendirmeden kaynaklı enerji ve yakıt sarfiyatını azaltırken araç ağırlığına olumsuz etki yaratmayan bir kompozit yapının ortaya koyulmasıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Malzeme Kompozisyonunun Geliştirilmesi

Bu çalışmada, kamyon, tır vb. ağır hizmet araçlarında sürüş konforunu artırmak ve motor bölgesinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın kabin içerisine geçişini engellemek amacıyla, hibrit kompozit plaka elde edilmesine yönelik Çizelge 1'de verilen malzeme kombinasyonları üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Malzeme kombinasyonları, benzer izolasyon malzemelerinin test şartnameleri, maliyet, akustik ve termal izolasyon ihtiyaçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Belirlenen malzemeler düz bir kalıpta preslenerek hibrit kompozit plakalar elde edilmiştir. Üretilen numunelerin termal ve akustik performansları, ısı iletkenlik ve empedans tüpü testleriyle değerlendirilmiş ve hedefe yönelik en iyi performansı gösteren malzeme kompozisyonu seçilmiştir.

Çizelge 1. Malzeme kompozisyonları (MK)

		İçerik				
MK 1	%4.89 Tela	%30.08 Fenolik Keçe	%30.08 Seramik Kumaş	%30.08 Fenolik Keçe	%4.89 Tela	
MK 2	%5.51 Tela	%33.90 Fenolik Keçe	%21.19 Cam Kumaş	%33.90 Fenolik Keçe	%5.51 Tela	
MK 3	%6.64 Tela	%40.86 Fenolik Keçe	%5 Aerojel	%40.86 Fenolik Keçe	%6.64 Tela	
MK 4	%4.84 Tela	%29.77 Fenolik Keçe	%29.77 Seramik Kumaş	%1 Aerojel	%29.77 Fenolik Keçe	%4.84 Tela
MK 5	%5.45 Tela	%33.56 Fenolik Keçe	%20.97 Cam kumaş	%1 Aerojel	%33.56 Fenolik Keçe	%5.45 Tela

Motor bölgesinde konumlanan parçalar su ve yağ ile temas halindedir. Bu nedenle en dış katmanda, su ve yağ itici özellikli, kolay deforme olmayan bir kaplama malzemesi olan tela kullanımı ve bununla birlikte özellikle akustik performansı yüksek ve diğer keçelere oranla maliyet avantajı sağlaması sebebiyle ana bileşen olarak fenolik keçe kullanımı kararlaştırılmıştır. Ara katmanda ise akustik ve termal izolasyonu desteklemesi adına, ısıya dayanıklı kumaşlar ve aerojel malzeme kombinasyonları eklenmiştir.

2.2 Prototip Ürünlerin Hazırlanması

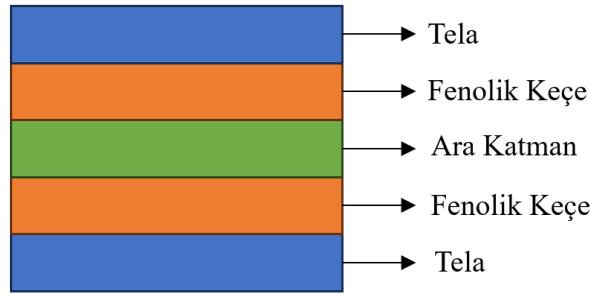
Tüm prototip ürünlerde üst ve alt katmanda tela & fenolik keçe yapısı sandviç oluşturabilmek amacıyla sabit olarak kullanılmıştır. Şekil 1’de gösterilen bu yapı, akustik performans ve termal yalıtım özellikleri açısından, ağır hizmet araçlarının bulunduğu zorlu koşullarda çalışan sistemlerin gereksinimlerini karşılamak için ideal kombinasyondur. Fenolik keçe, termoset bir malzemedir. İçeriğinde bulunan fenol formaldehit reçine, malzemenin yüksek ısıya dayanıklı olmasını sağlarken, keçenin gözenekli yapısı akustik performansın artmasını sağlamaktadır. Kullanılan kaplama telası ise, yapıya mekanik dayanım ve esneklik kazandırmakta ve bu sayede, yapısal stabilite sağlayarak deformasyonu önlemektedir. Aynı zamanda hafif bir malzeme olması sebebiyle de toplam ağırlığı arttırmamaktadır. Kullanılan kaplama telası, piyasada PANOX® ticari ismi ile bilinen, %50 karbon içerikli NW kumaştan mamul olup, yoğunluğu 130 kg/m³’tür. Fenolik keçe ise, %60 oranında polyester & pamuk karışımından oluşan elyaf ve %40 oranında fenol formaldehit reçine içermektedir. 800 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Ara katman olarak, MK 1’de 800 gr/m² seramik kumaş, MK 2’de 500 gr/m² cam kumaş kullanılmış olup, MK 3’te Ömer Lütfü Özgül Kimyevi Maddeler firmasından tedarik edilen, Çizelge 2’de teknik özellikleri verilen ve OSIL SUPER S220 ticari ismiyle bilinen hidrofilik ve amorf yapıda üretilen silika bazlı aerojel malzeme kullanılmış olup, kompozit yapının toplam ağırlığının %5’i oranında katkılanmıştır. Aerojel malzeme, geniş yüzey alanı, düşük yoğunluk, nano gözenekli yapı, yüksek saflıkta SiO₂ içeriği, yüksek su absorpsiyon kapasitesi ve nötr pH ile üstün termal ve akustik yalıtım özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Seramik kumaş, alüminyum oksit ve silisyum dioksit bazlı seramik liflerden üretilmiş, yüksek performansa sahip bir tekstil malzemesidir. Yüksek sıcaklıklarda yapısal bütünlüğü bozulmamakta ve termal bir bariyer görevi görmektedir. Cam kumaş, S-cam liflerinden dokunan, hafif ve yüksek mukavemetli bir tekstil malzemesidir. Yüksek sıcaklıklarda yapısal özelliklerini koruyabilmekte ve zorlu ortamlara

dayanıklılık göstermektedir. MK 4 ve MK 5 'de sırayla seramik kumaş-aerojel, cam kumaş-aerojel kombinasyonları uygulanmıştır. Aerojel katkısı kompozit yapının ağırlıkça %1'i olacak şekilde kullanılmıştır.

Çizelge 2. OSIL SUPER S220 teknik özellikleri

Özellik	Test metodu	Değer	Birim
Görünüm	-	Beyaz, ince kokusuz toz	-
Spesifik yüzey alanı	BET	220±30	m ² /g
Gözenek boyutu	BJH	3-5	nm
SiO ₂ içeriği	ISO 3262/19	98.64	%
Na ₂ SO ₄ , çözülmüş tuz içeriği	ISO 787/13	1.36	%
Yoğunluk	ISO 787/11	92	g/l
Kurutmada kütle kaybı	ISO 787-2	4.38	%
pH değeri 50 g/l	ISO 787-9	6.87	-
Su absorplama kapasitesi	W ₁ -QCP-03	262	%
Partikül boyutu (Dv50)	ISO 13320-1	13.11	µm

Çizelge 1 'de verilen malzemeler, 1 x 1 m ebatlarında kesilerek, üst üste olacak şekilde dizilmiş ve Şekil 1 'de gösterilen katmanlı bir yapı oluşturulmuştur.



Şekil 1. Malzeme kompozisyonu katmanları

Ardından düz yüzeye sahip bir kalıp kullanılarak (Şekil 2), 185 °C sıcaklıkta ve 170 bar basınç altında 120 saniye preslenerek, sandviç panel formunda prototip ürün üretimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Pres ve kalıp görseli

Makine parametreleri belirlenirken, kompozisyonun ana yapısını oluşturan fenolik keçenin kürleşerek sert bir form alması için gerekli değerler dikkate alınmıştır. Fenolik keçe içerisinde bulunan fenol formaldehit reçinenin kürleşerek termoset bir hal alması için minimum 170 °C sıcaklık kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte, 185 °C sıcaklık, reaksiyonu hızlandırarak kürleşme sürecinin daha kararlı bir yapıda olmasını sağlamaktadır. Daha düşük sıcaklıklar, kürleşme süresini uzatarak bağ yapısının zayıflamasına neden olabilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklar ise, reçinenin yanmasına sebep olarak, ürünün mekanik ve termal özelliklerini olumsuz etkilemektedir. 170 bar basınç ve 120 saniye presleme süresi, sandviç yapıda bulunan katmanların, homojen birleşmesini ve aralarında kuvvetli bir bağ oluşmasını sağlamaktadır. Yeterli basınç uygulanmadığı takdirde, katmanlar arasında istenen birleşme sağlanamamaktadır. Bu durumda yapısal bütünlüğü bozmaktadır. Daha yüksek basınç değerleri ise, malzemede deformasyona neden olabilmektedir. Çalışma kapsamında, benzer malzemelerin üretimine yönelik daha önce yapılmış çalışmalar temel alınarak, en uygun makine parametreleri belirlenmiştir.

Kompozit malzemelerin üretiminde, numune kalınlığının sabit tutulması, performans özelliklerinin karşılaştırılabilmesi ve deneysel sonuçların güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Otomotiv sektöründe, termal ve akustik izolasyon amacıyla üretilen sandviç paneller genellikle 0.025 m kalınlığında üretilmektedir. Bu kalınlık, hafiflik ve performans beklentileri açısından ideal bir seçimdir. Tüm numunelerin 0.025 m kalınlıkta olması için, presleme esnasında farklı kalınlıklarda stoperler kullanılmıştır. Stoper, kalıpta sıkıştırmayı sınırlayan fiziksel bariyerlerdir.

2.3 Empedans Tüpü Ölçümleri

Ses yutum katsayısının ölçümlerinde kullanılan yaygın yöntemlerden biri, empedans tüpünde gerçekleştirilen ses şiddeti ölçümleridir. Ses yutum katsayısı, emilen dalganın kaynaktan gelen dalgaya oranı olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2008). Empedans tüpü içerisine yerleştirilen, 0.03 m ve 0.1 m boyutlarındaki numunenin ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri, numune üzerine yerleştirilen mikrofonlar aracılığıyla ölçülmektedir (Doğru, 2020).

Ses yutum katsayısı (α), gelen ses dalgası enerjisi ile yansıyan ses dalgası enerjisi arasındaki farkın oranı olup, genellikle aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\alpha = 1 - |r^2| = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (1)$$

Formülde ‘r’ yansıma katsayısını ifade etmektedir. Yansıma katsayısı, ses dalgalarının malzeme yüzeyinde ne kadarının yansıdığını göstermekte ve empedans tüpünde yapılan hassas basınç ölçümleri ile belirlenmektedir. Ölçümlerde, ses basıncı, yansıma katsayısı, ses yutum gücü ve farklı frekanslardaki dalgaların özellikleri dikkate alınmaktadır. Genellikle, malzemenin ses yutum davranışı geniş bir frekans aralığında incelenerek değerlendirilmektedir. Bu yöntem sayesinde, malzemenin akustik performansı, özellikle gürültü kontrolü ve akustik tasarım alanlarında kullanılabilecek şekilde analiz edilmektedir (Batmaz ve Aydın, 2013).

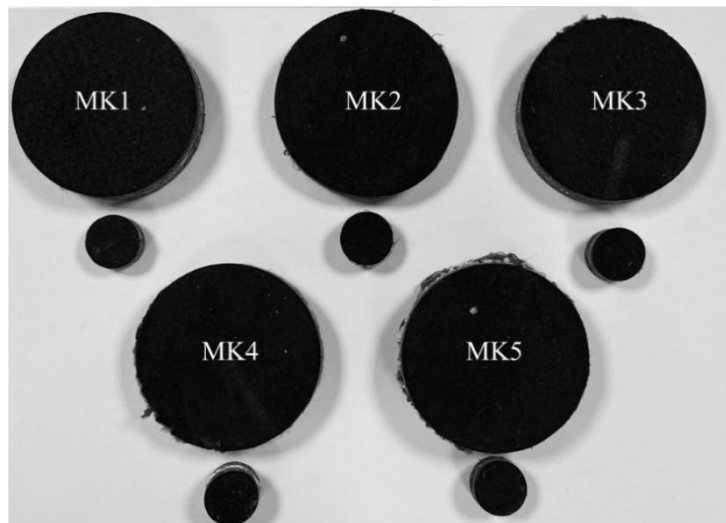
Test işlemi, TS EN ISO 10534-2 standardına uygun olarak Formfleks Ar-Ge laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu test yöntemi, ses yutucu malzemelerin ses yutum katsayısının belirlenmesi için bir empedans tüpü (Şekil 3), iki mikrofon ve bir frekans analiz sisteminin kullanımını kapsamaktadır. TS EN ISO 10534-2 standardına göre, transfer-fonksiyon yöntemi ile malzemenin ses yutma katsayısı belirlenmektedir. Bu test, malzemenin yüzeyine gönderilen ve geri yansıyan ses dalgalarının analiziyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Empedans tüpü

Test edilecek malzemelere ait numuneler, Şekil 4'te gösterildiği üzere, tüpün çapına uygun olacak şekilde 0.03 m ve 0.1 m boyutlarında kesim presinde hazırlanmaktadır. Empedans tüpü içerisinde herhangi bir kir olup olmadığı ve mikrofon giriş noktalarının temizliği kontrol edilmekte ve kullanılacak mikrofonların kalibrasyonları yapılmaktadır. Akabinde, kullanılan yazılım ve sistem bağlantıları kontrol edilmektedir. Laboratuvar ortamı, 23 °C sıcaklık ve %45 bağıl neme sahip olacak şekilde şartlandırılmaktadır. Test esnasında dış ortamdan gelen gürültü minimum seviyede olacak şekilde ortam izole edilmektedir.

Test malzemesi, tüpün uç kısmına yerleştirilip, sızdırmazlık sağlanmaktadır. Hoparlör aracılığıyla tüp içerisine 200 Hz ila 6300 Hz arasında değişen frekanslarda ses dalgaları gönderilmektedir. Bu kısımda, sinyal tipi olarak beyaz gürültü ve pembe gürültü kullanılmaktadır. Tüp üzerinde farklı noktalara yerleştirilmiş mikrofonlar tüp boyunca ilerleyen ve numuneden yansıyan ses dalgalarını ölçmektedir.



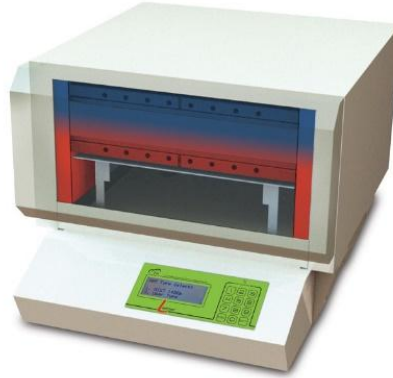
Şekil 4. 0.03 m ve 0.1 m empedans tüpü numuneleri

2.4 Isıl İletkenlik Ölçümleri

Isı İletkenlik Katsayısı λ (W/m.K), bir malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak o malzemenin ısıyı ne kadar iletmediğinin ifadesidir. Isı iletimi, bir katı malzeme veya durgun akışkan içindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçişi olarak tanımlanmaktadır. Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa, yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine iletim yoluyla aktarılmaktadır. (Variyenli ve Arslan, 2017).

Üretilen tüm numunelerin ısı iletkenlik testleri, Şekil 5'te gösterilen TA Instruments markalı, Lasercomp Fox 314 modeli cihazda, TS ISO 8301 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standart düz levha halindeki deney parçalarında, kararlı ısı aktarımını ölçmek için ısı akış sayacının kullanılmasını ve deney parçalarının ısı aktarım özelliklerinin hesaplanmasını kapsamaktadır. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı, iki plaka arasına yerleştirilen numune boyunca bir sıcaklık farkı oluşturarak ısı iletkenliği ölçmektedir. Plakalara yerleştirilen hassas termokupllar, numune yüzeyindeki sıcaklık ve ısı akışını doğru bir şekilde algılanmaktadır.

Test numuneleri, 0.3 x 0.3 x 0.025 m ebatlarında hazırlanmaktadır. Test cihazında alt plaka sıcaklığı 10 °C, üst plaka sıcaklığı 30 °C olarak ayarlanmakta ve plakalar arası sıcaklık farkı oluşturulması sağlanmaktadır. Bu sayede, numune boyunca ısı akışı oluşturulmaktadır. Hassas termokupllar, numune yüzeyine yerleştirilerek 10 farklı noktadan sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Tüm ölçümlerin ortalama değeri alınarak, ısı iletkenlik katsayısı λ (W/m.K) belirlenmektedir.

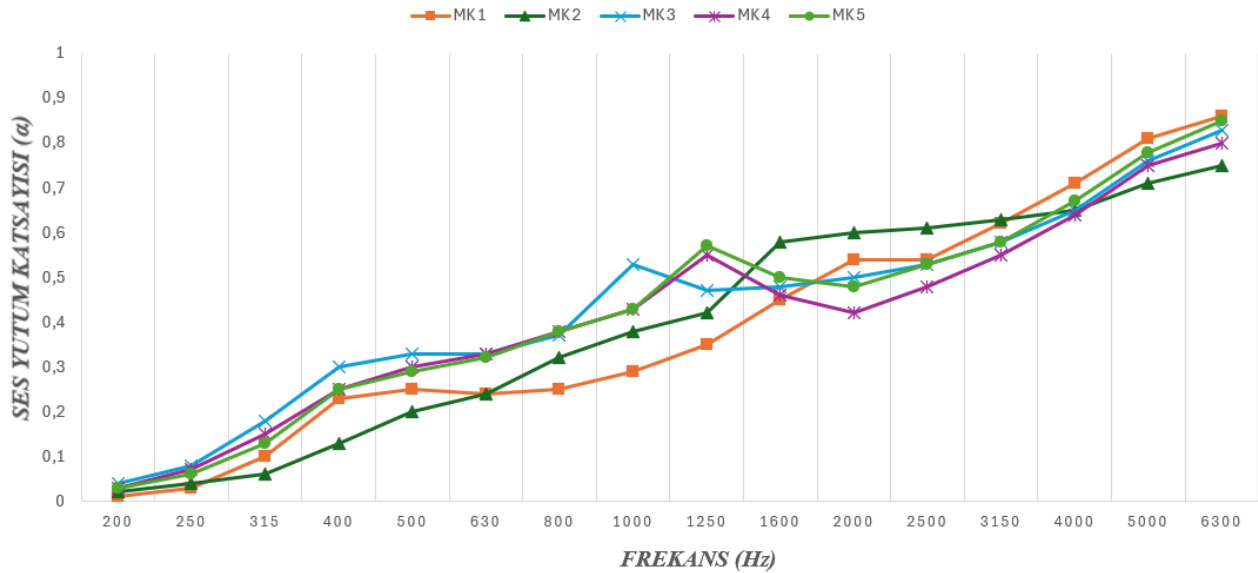


Şekil 5. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Empedans Tüpü Test Sonuçları

Aynı proses parametreleri kullanılarak (185 °C, 170 Bar, 120 saniye) malzeme kompozisyonu 1 ile prototip numune 1, malzeme kompozisyonu 2 ile prototip numune 2, malzeme kompozisyonu 3 ile prototip numune 3, malzeme kompozisyonu 4 ile prototip numune 4 ve malzeme kompozisyonu 5 ile de prototip numune 5 elde edilmiştir. Tüm prototip numunelerde, hibrit kompozit yapının oluşturulmasında, sesin yanı sıra darbe izolasyonu sağlamak üzere, en alt ve en üst katmanda fenolik keçe kullanılırken, tüm yapıyı saracak şekilde kaplama katmanı olarak tela kullanılmıştır. Şekil 6'da tüm prototip numunelere ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği, Çizelge 3'te prototip numunelere ait ses yutum katsayıları (α) verilmiştir. X ekseninde verilen frekans değerleri, sesin titreşim hızını ifade etmektedir. Bu ekseninde, sesin düşük frekanslardan (200 Hz) yüksek frekanslara (6300 Hz) kadar nasıl davrandığı analiz edilmektedir. Y ekseninde verilen ses yutum katsayısı, bir malzemenin ses enerjisini ne kadar iyi emdiğini göstermektedir. 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 0, sesin tamamen yansıtıldığını, 1 ise tamamen yutulduğunu ifade etmektedir.



Şekil 6. Tüm prototip numunelere ait ses yutum katsayısı(α)-frekans (Hz) grafiği

Çizelge 3. Prototip numunelere ait ses yutum katsayıları (α)

Frekans [Hz]	MK 1 [α]	MK 2 [α]	MK 3 [α]	MK 4 [α]	MK 5 [α]
200	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03
250	0.03	0.04	0.08	0.07	0.06
315	0.1	0.06	0.18	0.15	0.13
400	0.23	0.13	0.3	0.25	0.25
500	0.25	0.2	0.33	0.3	0.29
630	0.24	0.24	0.33	0.33	0.32
800	0.25	0.32	0.37	0.38	0.38
1000	0.29	0.38	0.53	0.43	0.43
1250	0.35	0.42	0.47	0.55	0.57
1600	0.45	0.58	0.48	0.46	0.5
2000	0.54	0.6	0.5	0.42	0.48
2500	0.54	0.61	0.53	0.48	0.53
3150	0.62	0.63	0.58	0.55	0.58
4000	0.71	0.65	0.65	0.64	0.67
5000	0.81	0.71	0.76	0.75	0.78
6300	0.86	0.75	0.83	0.8	0.85

Ses yalıtımının yanı sıra termal dayanımı arttırmak üzere, fenolik keçeler arasında cam kumaş ve seramik kumaşın konumlandırıldığı MK1 ve MK2 kompozisyonlarından üretilen prototip numunelerinin ses yutum performansı incelendiğinde; özellikle 630-3150 Hz frekans aralığında, cam kumaş içeren prototip 2 numunesinin ses yutum performansının, seramik kumaş içeren prototip 1 numunesine göre daha iyi olduğu, 3150Hz frekanstan sonra ise prototip 1 numunesinin ses yutum performansının prototip 2 numunesine oranla iyileştiği görülmüştür. Düşük frekanslı sesler uzun dalga boyuna, yüksek frekanslı sesler kısa dalga boyuna sahiptir. Cam kumaşın sahip olduğu gözenekli ve hafif yapı, 630-3150Hz frekanstaki seslerin malzeme içinde daha iyi absorbe edilmesini sağlarken yoğun ve sert yapıya sahip seramik kumaşın, kısa dalga boylarına sahip yüksek frekanslı seslerde daha etkin performans sergilediği düşünülmektedir (Kaya ve Dalgıç, 2017).

Ses yalıtımı ve termal dayanımı arttırmak üzere, fenolik keçeler arasında toz formda aerojel katkılı olarak üretilen prototip 3 numunesinin düşük frekanslarda, prototip 1 numunesi ve prototip

2 numunesine oranla daha yüksek ses yutum performansı sağladığı görülmüştür. Aerojeller, nano ölçekli gözeneklere sahip çok düşük yoğunluklu ve son derece gözenekli malzemelerdir. Gözeneklerin içindeki hava, düşük frekanslı ses dalgalarının yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Düşük frekanslı ses dalgaları, uzun dalga boylarına sahiptir ve malzemenin gözenekli yapısında daha uzun süre hapsolmektedir. Aerojelin içindeki hava boşlukları sayesinde, ses dalgalarının bu gözenekler içinde defalarca yansımaları sağlanmaktadır. Bu süreç sırasında, ses enerjisi sürtünme ve viskoz direnç nedeniyle kaybolurken düşük frekansta ses yutumu artmaktadır (Begum ve ark., 2022). Bunun yanı sıra, aerojelin akustik empedansı hava ile uyum sağlamaktadır. Bu uyumluluk, sesin malzeme tarafından soğurulmasına yardımcı olmaktadır. Çalışmada kullanılan aerojel, hidrofilik yapıda olması sebebiyle nem ve suyu hapsedmektedir. Su emilimi, malzemenin yoğunluğunu artırarak ağırlaşmasına sebep olmaktadır. Bu da yüksek frekanslarda ses yutumunu olumsuz etkilemektedir. Gelecek çalışmalarda, hidrofobik özellikli aerojel katkısı ile çalışma tekrarlanarak, yüksek frekanslarda ses yutum performansının incelenebileceği düşünülmektedir.

Termal dayanımı arttırmak üzere, ısı üreten yapıya bakacak yönde, fenolik keçe ile toz formda aerojel arasına seramik kumaş konumlandırılarak prototip 4 numunesi, yine fenolik keçe ile toz formda aerojel arasına cam kumaş konumlandırılarak prototip 5 numunesi elde edilmiştir. Ses yutum katsayısı-frekans grafiği incelendiğinde, düşük frekans aralığında (200- 1250Hz) benzer özellikler göstermiştir. Yüksek frekans aralığında (1250-6000Hz) ise prototip 5 numunesinin ses yutum performansında prototip 4 numunesine göre artış olduğu gözlenmektedir. Cam kumaş, özellikle yüksek frekanslı ses dalgalarını absorbe etmede etkili iken aerojel gözenekli yapısı ile düşük frekanslarda yüksek ses yutma kapasitesine sahiptir (Shao ve ark., 2024). Aerojelin gözenekli yapısının, ses dalgalarının malzeme içinde yayılmasına ve çok sayıda yansımaya izin verdiği düşünülmektedir. Ses dalgaları, aerojel katmanını geçtikten sonra cam kumaşa çarptığında, cam kumaşın lifli yapısı, sesin daha fazla difüze olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, prototip 5 numunesinde kullanılan cam kumaş ve aerojel kombinasyonunun sinerjik bir etki yaratarak geniş bir frekans aralığında etkili ses yalıtımı sağladığı düşünülmektedir. Seramik kumaşlar ise, genellikle daha sert ve yoğun yapıları nedeniyle, yüksek frekanslı ses dalgalarını geri yansıtma eğilimindedir. Seramik kumaş, aerojel ile birleştiğinde, malzemenin gözenek yapısı ve hava geçirgenliği azaldığı için ses emilim performansının düşebileceği ön görülmektedir. Elde edilen ses yutum katsayısı-frekans grafiği de bu öngörüye doğrular niteliktedir. Tüm malzeme kompozisyonları göz önüne alındığında, prototip 5'in literatürle uyumlu olarak geniş frekans aralığında kararlı bir ses yutum performansı sergilediği gözlenmiştir. Özetle, düşük frekanslı sesler daha uzun dalga boylarına sahip oldukları için, malzeme içinde derinlere inebilmektedir. Bu sebeple, aerojel gibi nano ölçekli gözenekli malzemeler, bu frekans bandında daha etkili olmaktadır. Yüksek frekanslı sesler kısa dalga boylarına sahip oldukları için, yüzeye yakın kısımlarda yutum gerçekleşmektedir. Bu nedenle, lifli yapılar ses dalgalarının yayılmasını sağlayarak etkili olmaktadır.

3.2 Isıl İletkenlik Test Sonuçları

Gözenekli yapıya sahip izolasyon malzemelere ait kombinasyonların kullanıldığı hibrit kompozitlerin ısı iletkenlik performanslarını incelemek üzere, her bir prototip numunenin ısı iletkenlik katsayısı ölçülerek sonuçları Çizelge 4 ve Şekil 7'de verilmiştir. Tela & fenolik keçeden oluşan alt katman ve üst katman arasına seramik kumaş, cam kumaş ve toz formda aerojelin konumlandırılarak elde edilen prototip numune 1, 2 ve 3'ün ölçülen ısı iletkenlik katsayıları birbiri ile kıyaslandığında, termal izolasyon performansı en yüksek numunenin aerojel katkılı prototip 3 numunesi olduğu tespit edilmiştir. Aerojel, düşük ısı iletkenlik özellikleri ile bilinmektedir (Alan ve ark., 2021). Dolayısıyla en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip numunenin, prototip 3 numunesinin

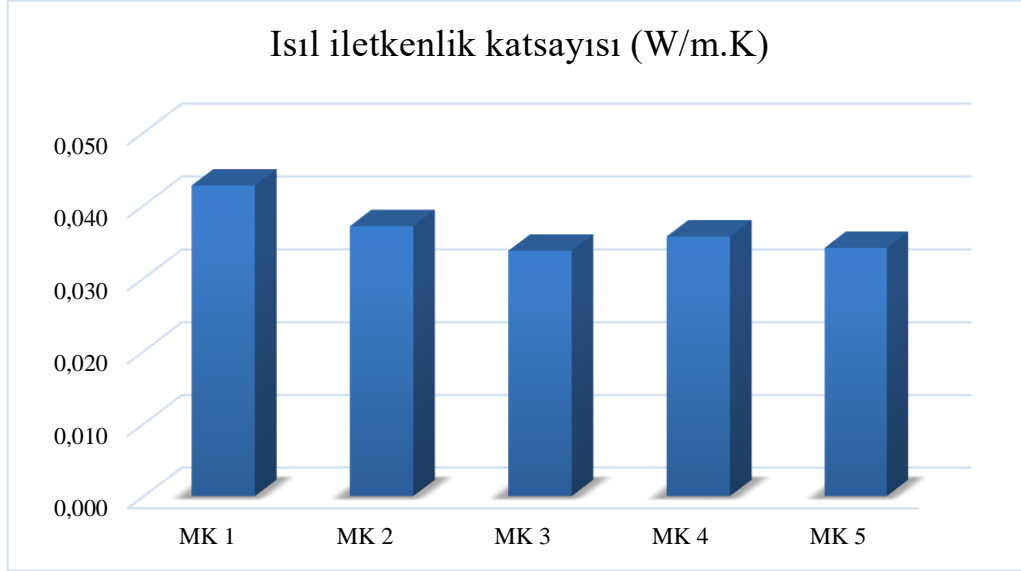
olması beklenen bir sonuçtur. Aerojel katkılı kompozitler, gözeneklik yapıları sayesinde, -200°C ile 650°C aralığında etkin bir ısı yalıtımı sağlamaktadır (Köken ve Kanık, 2022). Kararlı yapıları sayesinde, ani sıcaklık değişimlerinden minimum seviyede etkilenmektedirler. Bu da aerojel katkılı kompozitlerin, otomotiv, inşaat, petrol, doğalgaz ve uzay sanayi gibi çok çeşitli alanlarda etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Seramik kumaş ve cam kumaş içeren numuneler birbiri ile kıyaslandığında ise, prototip 2 numunesinin, prototip 1 numunesine kıyasla seramik kumaşın daha düşük ısı iletim özellikleri sergilediği gözlemlenmiş olup, elde edilen bu sonuç, cam kumaşın seramik kumaşa göre daha etkili bir ısı yalıtımı sağlama kapasitesine sahip olduğunu destekler niteliktedir. Cam kumaşın üstün ısı yalıtım performansının temelinde, cam liflerinin gözenekli ve hafif yapısı ile düşük ısı iletkenlik katsayısı yatmaktadır. Cam liflerinin sahip olduğu bu yapısal özellikler, ısının etkin bir şekilde emilmesini ve dağıtılmasını sağlayarak ısı iletkenliği minimize etmektedir. Bununla birlikte, seramik kumaşlar daha sert ve yoğun olduğundan daha düşük bir yalıtım özelliğine sahiptir. Bu durum, seramik kumaşların ısı yalıtımı açısından cam kumaşlara göre daha az etkili olmasına yol açmaktadır (Li ve ark., 2002). Cam kumaş ve seramik kumaşa ayrıca aerojelin katkılanması ile oluşturulan prototip 4 ve prototip 5 numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları incelendiğinde, söz konusu kumaşların tek başına kullanıldığında ölçülen sonuçlara paralel olarak prototip 5 numunesinin prototip 4 numunesine kıyasla daha iyi bir ısı yalıtımı sağladığı görülmektedir. Yine bu kumaşlara aerojel katkısının etkisi incelendiğinde ise, elde edilen ısı iletkenlik ölçümlerinde farklı bir sonuç elde edilmemiştir fakat, aerojel katkısı cam kumaş ve seramik kumaşın ısı yalıtım özelliğini anlamlı bir biçimde arttırmıştır. Tek başına seramik kumaşın kullanıldığı prototip 1 numunesine göre aerojel katkılı seramik kumaşın kullanıldığı prototip 4'ün ısı iletkenlik katsayısında %16.4'lük düşüş kaydedilmişken, sadece cam kumaşın kullanıldığı prototip 2 numunesine göre aerojel katkılı cam kumaşın kullanıldığı prototip 5'in ısı iletkenlik katsayısında %8.03'lük düşüş elde edilmiştir. Cam kumaş ve seramik kumaşın aerojel ile kombinasyonunda ısı iletkenlik düşüşü farklı olabilmektedir. Cam kumaşın ısı iletkenliği orta seviyede olduğu için aerojelin etkisi seramik kumaşa göre daha az belirgin olmuştur. Seramik kumaşın yüksek ısı iletkenliği ise aerojelin etkisini daha belirgin hale getirmiştir.

Çizelge 4. Prototip numunelere ait ısı iletkenlik katsayısı (W/m.K) sonuçları

Ölçüm Sayısı	Test sonuçları				
	MK 1	MK 2	MK 3	MK 4	MK 5
1	0.04276	0.03738	0.03388	0.03601	0.03436
2	0.04274	0.03728	0.03383	0.03591	0.03428
3	0.04273	0.03722	0.03379	0.03581	0.03423
4	0.04271	0.03716	0.03376	0.03575	0.03417
5	0.04269	0.0371	0.03373	0.03567	0.03414
6	0.04268	0.03708	0.03371	0.03564	0.03411
7	0.04267	0.03705	0.03368	0.03558	0.03408
8	0.04265	0.03703	0.03368	0.03554	0.03404
9	0.04264	0.03702	0.03367	0.03553	0.03404
10	0.04263	0.03701	0.03366	0.03551	0.03402
Ortalama Değer	0.04269	0.03713	0.03374	0.03570	0.03415

Bu çalışma, herhangi bir malzemeye/ yapıya aerojel eklenmesinin ısı yalıtımı üzerinde belirgin bir iyileştirme sağladığını göstermektedir. Düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekliliğe sahip yapısı,

aerojelin çok düşük ısı iletkenlik katsayılarına (0,018 W/m.K) sahip olmasına olanak tanınmaktadır. Bu özellikleri, arojeli son derece etkili bir ısı yalıtım malzemesi yapmaktadır. Düşük ısı iletkenlik, arojelin ısının geçişini sınırlandırarak ısı yalıtıma doğrudan etki ettiğini ortaya koymaktadır (Koebel ve ark., 2012; Chang ve ark., 2014).



Şekil 7. Prototip numunelere ait ısı iletkenlik katsayısı (W/m.K) sonuçları

4. SONUÇ

The Bu çalışmada, kamyon, tır vb. gibi ağır hizmet araçlarında, motor bölgesinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın ortamlar arası geçişini engelleyip, kabin içi sürüş konforu sağlamak üzere, ses ve darbe izolasyonu sağlamakla görevli alt ve üst katmanda fenolik keçe, akustik ve termal dayanımı arttırmakla görevli ara katmanda arojel, seramik kumaş, cam kumaş ve kombinasyonları kullanılarak düz kalıpta, 185 °C sıcaklıkta ve 170 bar basınç altında hibrit kompozit sandviç yapılar oluşturulmuştur. Akabinde, bu yapıların empedans tüpünde ses yutum katsayıları, ısı iletkenlik ölçüm cihazında ısı iletkenlik katsayıları ölçülerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ses yutum katsayısı, ses enerjisinin yansıma ve emilim oranıyla ilgilidir ve genellikle frekansa bağlı olarak ölçülmektedir. Isıl iletim katsayısı ise, malzemenin ısı enerjisini iletme kapasitesini tanımlamakta ve sabit bir değer olarak alınmaktadır. Gözenekli yapıların ısı iletim katsayısı, malzemenin yoğunluğu ve termal özelliklerine göre değişmekte iken, ses yutum özellikleri akustik dalga yayılımına bağlıdır. Ses yutum katsayısı ile ısı iletim katsayısı arasında doğrudan bir orantı bulunmamakla birlikte, malzemelerin termal ve akustik performansı arasındaki ilişki, genellikle malzemenin yapısına ve yoğunluğuna bağlıdır. Malzemelerin gözenekliliği hem ısı iletkenlik hem de ses yutum özelliklerini etkilemektedir. Örneğin, hafif, gözenekli malzemeler genellikle düşük ısı iletim katsayısına ve yüksek ses yutum katsayısına sahip olması beklenmektedir. Buna karşılık literatürde, iyi bir ısı yalıtımının sağlanması durumunda, malzemelerin ses yalıtım özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği gözlemlenmiştir (Nurzyński, 2015).

Akustik performans test sonuçları incelendiğinde, geniş frekans aralığında kararlı bir ses yutum performansı gösteren hibrit kompozit yapının, ısı üreten yapıya bakacak yönde iki kaplama telası arası fenolik keçe, cam kumaş, toz formda arojel ve fenolik keçe içeren malzeme kompozisyonu 5 olduğu tespit edilmiştir. Termal izolasyon performansı en yüksek hibrit kompozit yapının ise sırayla, iki kaplama telası arası fenolik keçe, toz formda arojel ve fenolik keçe içeren malzeme

kompozisyonu 3 ve iki kaplama telası arası fenolik keçe, cam kumaş, toz formda aerojel ve fenolik keçe içeren malzeme kompozisyonu 5 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler göz önüne alındığında, hem akustik hem de termal izolasyon performansını bir arada sunabilecek hibrit kompozit yapı malzeme kompozisyonu 5 ile sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmada, ağır hizmet araçlarının motor bölgesinde kullanılmaya yönelik hibrit kompozit yapılarının geliştirilmesinde uzmanlara destek olacak malzeme kompozisyonları ortaya koyulmuş olup, gelecekte farklı malzeme kompozisyonları ile NVH alanında çalışmak isteyen uzmanlara yol göstereceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, geliştirilen malzeme kompozisyonunun kullanım alanları ağır hizmet araçları ile sınırlı değildir. Benzer akustik ve termal izolasyon beklentilerine sahip tarım makineleri (traktör), iş makineleri ve deniz taşıtlarının motor bölmeleri gibi diğer endüstriyel uygulama alanlarında da değerlendirilmesi mümkündür. Bu malzemeler, sıcaklık değişimlerine karşı dirençli yapıları sayesinde, enerji tasarrufu ve aynı zamanda üretim kolaylığı avantajlarına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, gelecek yıllarda yenilenebilir enerji sistemlerinde, soğutma ve ısıtma teknolojilerinde ve iklim değişikliğiyle mücadele için sürdürülebilir çözümler geliştiren sektörlerde önemli bir rol oynamasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Formfleks Otomotiv A.Ş- Ar-Ge Merkezi bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar değerli katkılarından dolayı Ar-Ge Lideri Sn. İbrahim AYDIN'a teşekkür eder.

6. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

7. YAZAR KATKISI

Sena ARSLAN ATMACA çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk kısımlarında katkıda bulunmuştur. Öznur İSKENDER veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk kısımlarında katkıda bulunmuştur. Tuğay SEVİNÇ veri toplama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk kısımlarında katkıda bulunmuştur.

8. KAYNAKLAR

- Aegerter M. A., Leventis N., Koebel M. M., Steiner S. A. I., Springer Handbook of Aerogels, 2022.
- Ağırhan M., Otomotiv endüstrisinde kompozit malzeme kullanımı, Electronic Journal of Vocational Colleges 13(2), 51-64, 2023.
- Ahmed N. T., Otomotiv endüstrisinde karbon elyaf uygulamaları ile ilgili gelişmeler ve sürdürülebilirlik yaklaşımları, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2023.

- Alan S., Gökçen Akkurt G., Akkurt S., Sezer H.Ç., Çam A., Aerojel Yalıtım Keçelerinin Isıl ve Higrotermal Karakterizasyonu, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(Özel sayı): 58-69, 2021.
- Aydın İ., Otomobillerde kullanılan izolasyon malzemelerinin emme katsayılarının ölçülmesi ve uygun malzeme kalınlığının belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2008.
- Aydın İ., Arslan S., Akduman M. Ç., Çay D., İskender Ö., Ağır hizmet araçlarının gürültü kalkanı parçasının akustik ve mekanik dayanım performansının incelenmesi, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences* 10(2), 300-311, 2024.
- Batmaz İ., Aydın İ. Taşıtlarda Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Ses Yutma Katsayılarının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 27(4), 2013.
- Begum H., Xue Y., Bolton J. S., Horoshenkov K. V., The acoustical absorption by air-saturated aerogel powders, *The Journal of the Acoustical Society of America* 151(3), 1502-1515, 2022.
- Caps R., Fricke J., Aerogels for thermal insulation. In *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users*, 349-353, 2004.
- Cebe E., İrez A. B., Elektrikli araçlarda batarya kutusu imali için termal özellikleri iyileştirilmiş hibrit polimer kompozitlerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences* 36(3), 224-234, 2024.
- Chang K. J., Wang Y. Z., Peng K. C., Tsai H. S., Chen J. R., Huang C. T., Lien W. F., Preparation of silica aerogel/polyurethane composites for the application of thermal insulation. *Journal of Polymer Research* 21, 1-9, 2014.
- Danyıldız F. E., Hibrit fiber kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2023.
- Doğru T., Otomotiv iç trim malzemelerinde akustik özelliklerin ısı iletimi ile ilişkisinin araştırılması, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2020.
- European Environment Agency., *Monitoring CO₂ Emissions from New Passenger Cars and Vans in 2017. EEA Technical Report*, 15, 1-35, 2018.
- Göz S., Elyaf dizilişinin karma kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2016.
- Hu S., Wang D., Večerník J., Křemenáková D., Militký J., Electromagnetic interference (EMI) shielding and thermal management of sandwich-structured carbon fiber-reinforced composite (CFRC) for electric vehicle battery casings. *Polymers* 16(16), 2291, 2024.
- Hung WC., Horng R.S., Shia RE. Investigation of thermal insulation performance of glass/carbon fiber-reinforced silica aerogel composites, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 97, 414-421, 2021.
- Gündoğdu İ., Aerojel Takviyesinin Farklı Metotlarla Tekstil Materyaline Aktarılması, *Termal ve Akustik Yalıtım Özelliklerinin İncelenmesi*, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2023.
- Karabulut C., Konvansiyonel malzemeler için aerojel takviyesi ile düşük termal iletkenlik, düşük akustik iletkenlik ve iyi mekanik özelliklere sahip süper yalıtım keçelerin geliştirilmesi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2022.
- Kaw K., *Mechanics of Composite Materials*, CRC press, 2005.

- Kawaoka S., Oya N., Sugiura K., Preparation and Characterization of Silica-Fiber/Aerogel Composite Heat Insulations, *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments* 43(1), 228-234, 2020.
- Kaya A. İ., Dalgac T., Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 8(Özel (Special) 1), 25-37, 2017.
- Kazan H., Hybrid Single Shot Manufacturing of MultiMaterials Structure for Automotive Applications. Phd Thesis of Clemson University, 2019.
- Keskin E. N., Farklı monomer karışım oranları ile üretilen poliüretanların yüzey ve akustik özelliklerinin incelenmesi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*, 2023.
- Koebel M., Rigacci A., Achard P., Aerogel-based thermal superinsulation: an overview, *Journal of sol-gel science and technology* 63, 315-339, 2012.
- Köken A., Kanık M., Aerojellerle Isı Yalıtımı ve Tekstil Uygulamaları. *Tekstil ve Mühendis* 29(128), 249-260, 2022.
- Li Y., Zhu Q., Yeung K. W., Influence of Thickness and Porosity on Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles, *Textile Research Journal* 72(5), 435-446, 2002.
- Mazraeh-shahi Z. T., Shoushtari A. M., Bahramian A. R., A New Approach for Synthesizing the Hybrid Silica Aerogels. *Procedia Materials Science* 11, 571575, 2015.
- Meti P., Wang Q., Mahadik D. B., Lee K. Y., Gong Y. D., Park H. H., Evolutionary Progress of Silica Aerogels and Their Classification Based on Composition: An Overview. *Nanomaterials* 13(9), 1498, 2023.
- Nayak R., Padhye R., Acoustic textiles: an introduction, *Acoustic Textiles*, 1-32, 2016.
- Nurzyński J., Is Thermal Resistance Correlated with Sound Insulation? *Energy Procedia* 78, 152-157, 2015.
- Shao J., Lv Y., Xue Z., Pan Y., Liu J., Dai M., Qiu F., Preparation and Acoustic Performance of Porous Aerogel Composites of Graphene Oxide and Cellulose, *Coatings* 14 (4), 441, 2024.
- Variyenli H. İ., Arslan C., Sıvıların ve Gazların Isıl İletkenlik Katsayısını Belirleyebilmek için Laboratuvar Tipi Bir Deney Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Test Edilmesi, *Politeknik Dergisi* 20(3), 599-605, 2017.
- Zuo L., Zhang Y., Zhang L., Miao Y. E., Fan W., Liu T., Polymer/carbon-based hybrid aerogels: preparation, properties and applications. *Materials* 8(10), 6806-6848, 2015.