

Ağır Hizmet Araçlarının Gürültü Kalkanı Parçasının Akustik ve Mekanik Dayanım Performansının İncelenmesi

İbrahim Aydın¹ , Sena Arslan² , Merve Çalışkan Akduman³ , Dilara Çay⁴ , Öznur İskender⁵

^{1,2,3,4,5}Formfleks Otomotiv Yan Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye

Öz – Kamyon, tır gibi ağır hizmet araçlarında en çok gürültü üreten yapı olan motor odasında oluşan ısı ve sesin izole edilmesi için bu yapının yakına yalıtım malzemesi olarak gürültü kalkanı konumlandırılmaktadır. Bu çalışmada, ağır hizmet araçlarında gürültü kalkanı olarak kullanılmak üzere, ses ve ısı üreten yapıya bakacak yönde konumlandırılan alt katmanda taş yünü, gürültü kalkanı parçasının mukavemet ve akustik performansını arttırmakla görevli üst katmanda PP/GF, GF/EP, GF/PET, Karbon/EP, fenolik keçe ve yapıştırıcı malzeme olarak PE film kullanılarak düz kalıpta, 190 °C sıcaklıkta ve 110 bar basınç altında kompozit sandviç yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların empedans tüpünde ses yutum katsayıları ölçülerek akustik performansları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Akustik performans test sonuçları incelendiğinde, ses yutum katsayısı (α) 1 değerine en yakın olan kompozit sandviç yapının dıştan içe doğru iki kaplama telası arasında PP/GF, PE film, taş yünü içeren malzeme kompozisyonu 1 olduğu tespit edilmiştir. Kalınlığın akustik performansa ve mukavemete etkisini incelemek üzere, en iyi akustik performansı gösteren malzeme kompozisyonu 1 ile 10 mm, 20 mm ve 30 mm kalınlıklarında üretilen numunelere akustik performans ve 3 nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Elde edilen verilerden kalınlık arttıkça ses yutum kapasitesinin ve eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Makale Tarihi

Gönderim: 17 Kasım 2023

Kabul: 30 Ocak 2024

Yayın: 25 Haziran 2024

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler – Akustik, gürültü kalkanı, kompozit, mekanik dayanım, yalıtım malzemesi

Investigation of Acoustic and Mechanical Strength Performance of the Noise Shield Part of Heavy-Duty Vehicles

^{1,2,3,4,5}Formfleks Otomotiv Yan Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye

Abstract – The motor compartment is the primary source of noise production in heavy-duty vehicles such as trucks and trailers due to the heat and sound generated. A noise shield is positioned in close proximity as insulation material to isolate these effects. This study specifically focuses on the use of insulation materials as a noise shield in heavy-duty vehicles. The lower layer addressing the structure producing heat and sound includes rock wool. The upper layer, responsible for enhancing strength and acoustic performance, consists of various materials, such as PP/GF, GF/EP, GF/PET, Carbon/EP, phenolic felt, and PE film as an adhesive material. These materials have been carefully selected to ensure optimal performance and meet the highest quality standards. Composite sandwich structures were created using these materials in a flat mold at a temperature of 190°C and a pressure of 110 bars. The acoustic performance of these structures was compared by measuring their sound absorption coefficients in an impedance tube. Upon examining the results of the acoustic performance tests, it was determined that Composition 1, including PP/GF, PE film, and rock wool between the two outer layers, had the sound absorption coefficient (α) closest to 1. To investigate the impact of thickness on both acoustic performance and strength, acoustic performance, and 3-point bending tests were conducted on samples produced with the best-performing material composition 1 at thicknesses of 10 mm, 20 mm, and 30 mm. The data obtained showed that as the thickness increased, so did the sound absorption capacity and bending strength.

Article History

Received: 17 Nov 2023

Accepted: 30 Jan 2023

Published: 25 Jun 2024

Research Article

Keywords – Acoustic, composite, insulation material, mechanical strength, noise shield

¹ibrahim.aydin@ff-rd.com; ²sena.arslan@ff-rd.com; ³merve.akduman@ff-rd.com; ⁴dilara.cay@ff-rd.com; ⁵oznur.iskender@ff-rd.com (Corresponding Author)

1. Giriş

Enerjinin sıvı, katı veya gaz ortamda transferi esnasında oluşturduğu mekanik titreşimler ses olarak adlandırılmaktadır [1]. Titreşim enerjiye dönüşür ve dalgalar halinde yayılır. Ses dalgalarına akustik dalgalar da denmektedir. Ses dalgaları mekanik ve boyuna dalgalardır. Bir saniyede oluşan ses dalgası sayısına, frekans denmekte olup, birimi Hertz (Hz)'tir [2]. Gürültü, temel olarak titreşim halindeki bir parçanın meydana getirdiği istenmeyen ses olarak bilinmektedir. Gürültü, ses başlığı altında değerlendirildiğinde ise bir anlam vermeyen, belli bir ses seviyesini aşan durumlarda kullanılır. Bu açıdan bakıldığında, istenmeyen seviyelere ulaşmış sesler gürültü olarak değerlendirilmektedir. Örneğin yüksek devirlerde kullanılan bir binek araç "gürültü" olarak algılanabilir. Kuş ötmesi, matkap sesi, yoldan gelen traktör sesi veya havaalanına yakın bir bölgede duyulan helikopter sesi de "gürültü" olarak değerlendirilebilir [3]. Gürültüyü kontrol etmek ve gürültü kaynağını engellemek üzerine araştırmalar yapan bilim dalı akustiktir [2].

Taşıtlarda gürültü kontrolü, gürültüyü oluşturan kaynakların fazla olması ve gürültü yayılım yollarının çeşitliliği nedeniyle çözümü zor akustik bir problemdir. Ses ve titreşimlerin taşıtın bütün gövdesi ve donanımları üzerinden yayılabilmelerinden dolayı öncelikle taşıttaki gürültü kaynakları belirlenmelidir [4]. Taşıtların sebep oldukları gürültüler dış ve iç gürültü olarak iki başlık altında incelenebilmektedir. Taşıt içerisindeki konfor ve rahatı iç gürültü etkilerken, taşıtın çevreye verdiği rahatsızlığın ana sebebi dış gürültüdür [5].

Araçlarda iç gürültünün en önemli kaynağı motordur. İçten yanmalı motorlarda gürültü genel olarak mekanik gürültü, yanma gürültüsü ve yardımcı ekipmanlardan kaynaklanan gürültüler olarak üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Çeşitli operasyon koşullarında, motor komponentlerinin motor gürültüsüne katkısı motor çeşidine bağlıdır [6]. Kamyonlarda da kullanılan V-6 motorundaki gürültü kaynaklarının frekans aralıkları incelendiğinde, yanma gürültüsünün 500-8000Hz olduğu tespit edilmiştir [7]. Motor yüzeyinden yayılan gürültü mekanizması incelendiğinde ise motor yanma gürültüsünün 500-5000Hz aralığında etkin olduğu görülmüştür [8]. Ancak bir insan 20-10000Hz arasındaki sesleri duymakta iken (kişiye ve yaşa göre değişir) esas olarak 1000-4000Hz arasını daha çok duymaktadır [9].

Otomotiv sektöründe, gürültü, titreşim ve konfor (NVH), araçların özellikle de otomobillerin ve kamyonların gürültü ve titreşim özelliklerinin incelenmesi ve değiştirilmesidir. Araç içerisindeki sürücü ve yolcuların yaşadığı gürültü ve titreşimle iç NVH ilgilenirken dış NVH, büyük ölçüde araç tarafından yayılan gürültüyle ilgilenmekte ve araçtan dış ortama yayılan gürültülerin testlerini içermektedir [10].

Bahsedilen tüm bu değişkenler tasarlanıp üretilen aracın kabin içi ve kabin dışında NVH açısından rekabetçi olmasını sağlayan en temel özelliklerdir. Son yıllarda otomotiv sektöründe artan rekabet ve gelişen teknoloji ile otomotiv firmaları Ar-Ge departmanları içerisinde barındırdıkları araç mühendisliği ekipleriyle bu konu üzerine ciddi çalışmalar yürütülmektedir [11].

Malzemelerin ses emme verimliliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan nicelik, soğurulan enerjinin gelen enerjiye oranı olarak tanımlanan ses yutum katsayısıdır ve α ile temsil edilmektedir. Akustik enerji tamamen emilebiliyorsa, $\alpha=1$ 'dir [12]. Araç kabinlerinde gürültü seviyesini azaltmak üzere, farklı malzeme kompozisyonları ile konumlandırılacakları alana özel yalıtım parçaları kullanılmaktadır. Araç içi gürültü kontrolünde kullanılan bu yalıtım parçalarının da ses yutum katsayısının olabildiğince 1'e yaklaşması beklenmektedir. Aracın çevreye yaydığı ses düzeyinin azaltılmasında kullanılan yalıtım parçalarından biri de gürültü kalkanıdır. Gürültü kalkanı, aracın ses üreten yapısı olan motoru en azından kısmen saracak şekilde düzenlenmiş, akustik izolasyon malzemesidir. Esas olarak ses üreten yapıya bakacak şekilde düzenlenmiş

birinci yüzey, ses üreten yapıdan uzağa bakacak şekilde düzenlenmiş ve zıt konumlandırılmış ikinci bir yüzey içermektedir [13]. Gelişen teknoloji ile araçlarda ağırlık artışı sağlamadan ses ve ısı gelen yapılardan yayılan gürültü ve ısıyı izole etmek üzere kullanılan gürültü kalkanının üretiminde de kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Üretiminde kompozit malzemelerin kullanıldığı ürünlerin ağırlık, rijitlik, aşınma dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, yorulma dayanımı, korozyon dayanımı, ısı ve akustik iletkenlik, fiyat ve estetik görünüm gibi özellikleri geliştirilebilmektedir [14].

Mineral katkılı malzemeler ve elyaflarla takviye edilmiş polimer malzemelerin akustik performans ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik literatürde çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Otomotivde ses yutum malzemeleri ile ilgili farklı kalınlık, akış direnci ve yüzey yoğunluğuna sahip malzemelerin incelenmesi sonucunda, ince malzemelerde iyi yutum sağlanabilmesi için kalın örneklerle göre daha belirgin bir akış direncine sahip olunması gerekliliği bildirilmiştir [15]. Gözenekli lifli malzemelerin ses yutma özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, farklı kalınlıklarda, farklı yoğunluklara sahip cam yünü ve taş yünü numunelerinin ses yutma katsayıları ölçülmüş, numune kalınlığının artması ile ses yutma kapasitesinin artırılacağı tespit edilmiştir [16]. Cam elyaf takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışına plaka kalınlığının etkisinin incelendiği çalışmada, plaka kalınlığının artması ile kompozit plakanın darbe dayanımının arttığı sonucuna varılmıştır [17].

Bu çalışmada, kamyon, tır vb. gibi ağır hizmet araçlarının motor bölgelerinde ortaya çıkan ses ve yüksek sıcaklığın ortamlar arası geçişini engellemek üzere, ses ve ısı üreten yapıyı en azından kısmen örtecek şekilde konumlandırılan, yüksek mukavemet, düşük ağırlık, dayanıklılık, yanmazlık gibi özelliklerin yanı sıra düşük maliyetli bir malzeme kompozisyonuna sahip gürültü kalkanı elde edilmesine yönelik öncelikle malzeme kompozisyonları üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Malzeme kompozisyonları belirlenirken; araç motor bölgesinde kullanılacak izolasyon malzemelerine ait test şartnameleri, maliyet, akustik ve NVH ihtiyaçları gibi durumlar bir arada düşünülmüştür. Akabinde malzeme kompozisyonları düz kalıplarda formlanarak sandviç panel formunda prototip üretimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen prototiplerin ses yutum katsayıları ölçülerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. En iyi akustik performansına sahip malzeme kompozisyonu belirlenerek farklı kalınlıklarda prototip ürün üretimi gerçekleştirilmiş ve ürünlerin eğilme gerilmesi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzeme Kompozisyonunun Geliştirilmesi

Son yıllarda havacılık, otomotiv ve gemi sanayinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve kullanım alanları da her geçen gün artan kompozit malzemeler, diğer izo-tropik malzemelere (çelik, alüminyum vb.) kıyasla daha yüksek eğilme rijitliği, yüksek termal yalıtım, düşük özgül ağırlık, kolay tamir edilebilme gibi eşsiz özelliklere sahiptirler [18]. Çalışmada, yüksek mukavemet, düşük ağırlık, dayanıklılık, yanmazlık gibi özelliklerin yanı sıra düşük maliyetli bir gürültü kalkanı parçası elde etmek üzere sandviç panel formunda farklı malzeme kompozisyonu seçimleri gerçekleştirilmiştir. Malzeme kompozisyonları belirlenirken; araç motor bölgesinde kullanılacak izolasyon malzemelerine ait test şartnameleri, maliyet, akustik ve NVH ihtiyaçları gibi durumlar bir arada düşünülmüştür. Gürültü kalkanı parçasının üretiminde kullanılmak üzere seçilen alternatif malzeme kompozisyonları tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme kompozisyonları (MK)

İçerik						
MK 1	%5,1 Kaplama telası	%42,0 PP/GF	%1,8 PE Film	%46,0 Taş Yünü	%5,1 Kaplama telası	
MK2	%4,0 Kaplama telası	%35,0 PP/GF	%0,5 PE Film	%18,5 GF/EP	%38,0 Taş yünü	%4,0 Kaplama telası
MK 3	%3,0 Kaplama telası	%28,0 Fenolik keçe	%28,0 PP/GF	%0,5 PE Film	%6,5 Karbon/EP	%31,0 Taş yünü %3,0 Kaplama telası
MK 4	%4,5 Kaplama telası	%39,0 PP/GF	%1,0 PE Film	%8,0 Karbon/EP	%43,0 Taş yünü	%4,5 Kaplama telası
MK 5	%3,0Kaplama telası	%26,5 PP/GF	%1,0 PE Film	37,50 GF/PET	%29,0 Taş yünü	%3,0 Kaplama telası

2.2. Prototip Ürünlerin Hazırlanması

Tablo-1’de verilen malzeme kompozisyonları kullanılarak düz kalıpta 190 °C sıcaklıkta ve 110 bar basınç altında sandviç panel formunda prototip ürün üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretimlerde, elde edilecek prototip ürün kalınlığına etki eden ve kalıp üzerine yerleştirilen stoperlerin kalınlıkları ve kalıplama süreleri değiştirilerek 12 adet prototip ürün üretimi gerçekleştirilmiştir. Prototip ürün üretiminde kullanılan malzeme kompozisyonları, proses parametreleri ve stoper kalınlıkları tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme kompozisyonları, proses parametreleri ve stoper kalınlıkları

Numune numarası	Malzeme kompozisyonu	Kalıp sıcaklığı (°C)	Kalıp basıncı (Bar)	Stoper Kalınlığı (mm)	Kalıplama Süresi (dk)
1	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	20	3
2	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	15	4
3	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	7.5	5
4	Malzeme kompozisyonu 2	190	110	7.5	5
5	Malzeme kompozisyonu 2	190	110	7.5	4
6	Malzeme kompozisyonu 4	190	110	7.5	4
7	Malzeme kompozisyonu 3	190	110	7.5	4
8	Malzeme kompozisyonu 4	190	110	7.5	3
9	Malzeme kompozisyonu 5	190	110	7.5	2
10	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	25	3
11	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	30	3
12	Malzeme kompozisyonu 1	190	110	40	3

Sandviç panel formunda üretilen tüm prototip ürünlerde, ses ve ısı üreten yapıya bakacak yönde konumlandırılan alt katmanda 1200 kg/m³ dansiteye sahip taş yünü kullanılmıştır. Ses ve ısı üreten yapıya uzak yönde konumlandırılan, gürültü kalkanı parçasının mukavemetini ve akustik performansını arttırmakla görevli olan üst katmanda ise ağırlıklı olarak 1100 kg/m³ dansiteye sahip PP/GF (cam elyaf katkılı polipropilen) kullanılmıştır. Malzeme kompozisyonu 3’te diğer kompozisyonlardan farklı olarak PP/GF üzerinde 1100 kg/m³ dansiteye sahip fenolik keçe kullanılmıştır. Alt ve üst katman arasında ise malzeme kompozisyonu 1’den farklı olarak 580 kg/m³ dansiteye sahip GF/EP (cam elyaf takviyeli epoksi), Sheet Molding Compound (SMC) yöntemi ile üretilmiş 1550 kg/m³ dansiteye sahip GF/PET (cam elyaf takviyeli polyester) ve 245 kg/m³ dansiteye sahip karbon/EP (karbon elyaf takviyeli epoksi) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen prototip ürünlerde en az 2 kat olacak şekilde yapıştırıcı malzeme olarak PE film kullanımı tercih edilmiştir. Prototip ürünlerin en dış katmanını oluşturan kaplama telası ise, piyasada PANOX® ticari ismi ile bilinen, alev geciktirici özelliğe haiz %50 karbon içerikli NW kumaştan mamul olup, 130 kg/m³ dansiteye sahiptir.

2.3. Empedans (Kundt) Tüpü Ölçümleri

Ses yutma katsayısı ölçümlerinde kullanılan yaygın metot, empedans tüpünde yapılan ses şiddeti ölçümleridir. Ses yutma katsayısı, basit olarak emilen dalganın kaynaktan gelen dalgaya oranı olarak tanımlanmaktadır [19].

Empedans tüpü içerisine yerleştirilen 30-100 mm boyutlarındaki numunenin ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri numune üzerine yerleştirilen mikrofonlar yardımıyla ölçülmektedir [20].

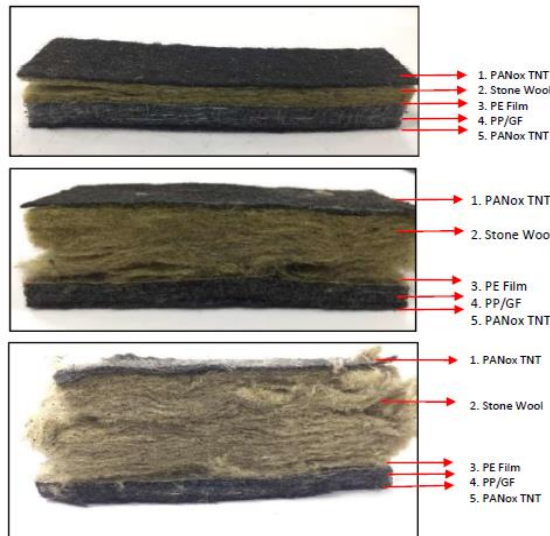
Kamyon, tır vb. gibi ağır hizmet araçlarının motor bölgelerinde ses izolasyonu sağlamak ve motor bölgesinden gelen yüksek sıcaklığın izole edilmesini sağlamak amacıyla öncelikle 5 farklı malzeme kompozisyonu belirlenmiş olup, kalıp sıcaklığı ve basıncı sabit tutularak farklı kalıplama süreleri uygulanarak 9 adet prototip numune elde edilmiş ve bu ürünlerin akustik performans testleri, TS EN ISO 10534-2 standardına uygun olarak Formfleks Ar-Ge laboratuvarında yer alan empedans tüpü (Şekil 1) ile 250~6300Hz ölçüm aralığında gerçekleştirilmiştir. En iyi akustik performansı gösteren malzeme kompozisyonu ile hazırlanan 3 farklı kalınlıkta numunenin ses yutum katsayıları ölçülerek kalınlığın akustik performansa etkisi ayrıca incelenmiştir. Literatürde Kundt tüpü olarak da adlandırılan empedans tüpü, Alman fizikçi August Kundt tarafından bir gaz veya katı çubuktaki ses hızını ölçmek amacıyla icat edilen deneysel bir akustik cihazdır [21].



Şekil 1. Empedans tüpleri

2.4. Eğilme Testi

Eğilme testi, malzemenin mekanik özelliklerini incelemek üzere, aynı malzeme kompozisyonuna sahip 3 farklı kalınlıkta (10 mm, 20 mm, 30 mm) üretilen her bir prototip numuneden (Şekil 2) 80*10 mm boyutlarında 5 set test numunesi kesilmiş ve ISO 178 standardı kapsamında, test parametreleri hedef bükme mesafesi 20 mm, test hızı 20 mm/dakika olacak şekilde, Formfleks Ar-Ge laboratuvarında yer alan 5 kN kapasiteli çekme basma test makinesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Farklı kalınlıkta prototip numuneler

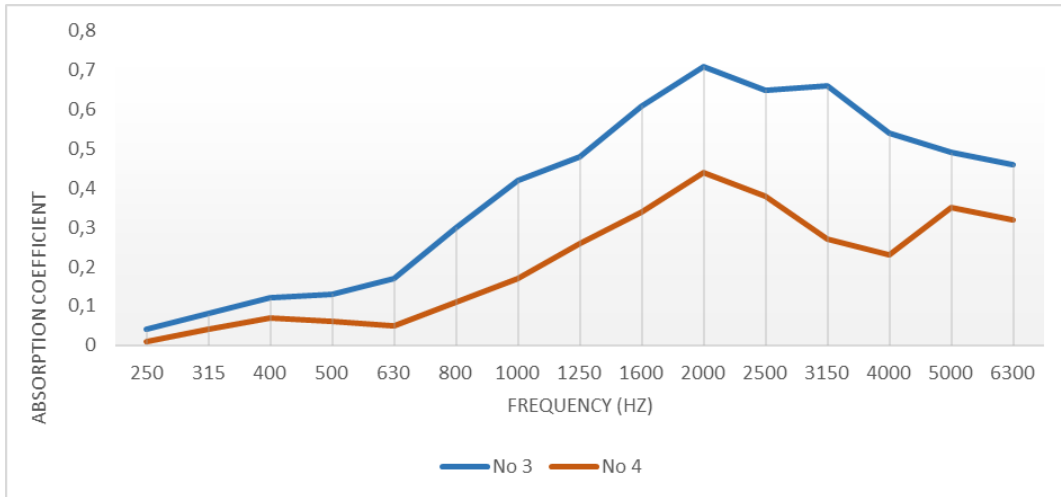


Şekil 3. Çekme basma test makinesi

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Akustik Performans Test Sonuçları

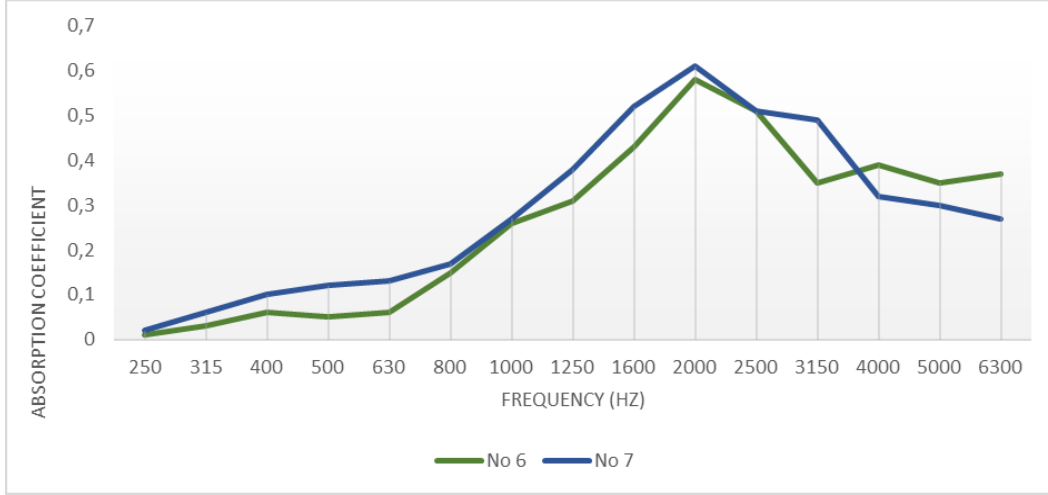
Aynı proses parametreleri (190 °C, 110 bar, 5 dakika) ve stoper kalınlığı (7.5 mm) kullanılarak malzeme kompozisyonu 1 ile prototip numune 3, malzeme kompozisyonu 2 ile de prototip numune 4 elde edilmiştir. Malzeme kompozisyonu 1 ve 2 ile elde edilen prototip numune 3 ve 4'ün ana matrisi aynı iken kompozisyon 2'de ses ve ısı üreten yapıya bakan katmanda kullanılan taş yünü altında ek olarak GF/EP kullanımı söz konusudur. Şekil 4'te prototip numune 3 ve numune 4'e ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği verilmiştir. Her iki numuneye ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği incelendiğinde; ses yutum katsayısının prototip numune 3'ün 400-2500Hz frekans aralığında daha iyi bir performans sergilediği gözlenmiştir.



Şekil 4. Prototip numune 3 ve 4'e ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği

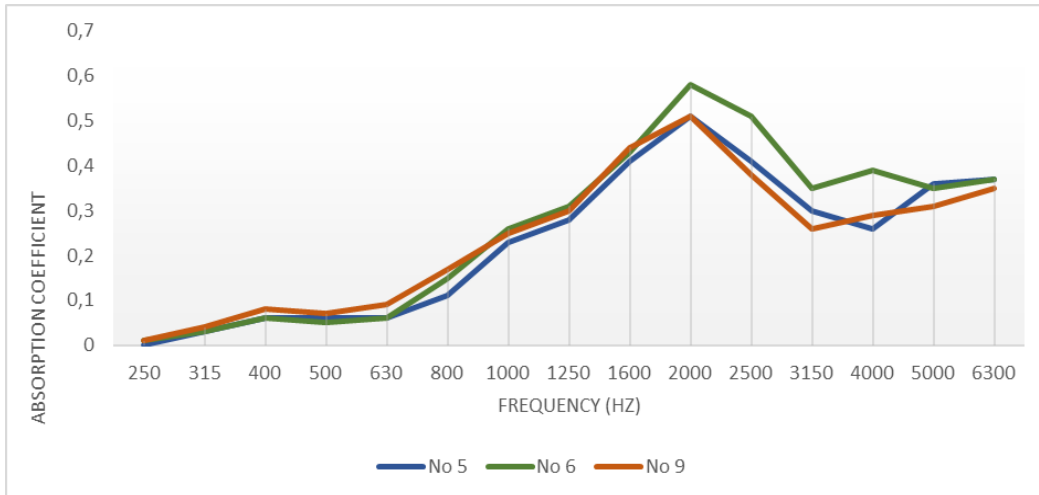
Şekil 5'te prototip numune 6 ve 7'ye ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği verilmiştir. Aynı proses parametreleri (190 °C, 110 bar, 4 dakika) ve stoper kalınlığı (7.5 mm) kullanılarak malzeme kompozisyonu 4 ile prototip numune 6, malzeme kompozisyonu 3 ile de prototip numune 7 elde edilmiştir. Malzeme kompozisyonu 4 ve 3 ile elde edilen prototip numune 6 ve 7'nin ana matrisi farklıdır. Bu malzemelerin ses absorpsiyonu üzerindeki etkisi incelendiğinde, prototip numune 6 ve 7 düşük frekanslarda benzer performansı

gösterirken, fenolik keçenin kullanıldığı prototip numune 7 yüksek frekanslarda daha iyi bir performans göstermiştir. Bunun nedeni, keçe malzemenin poroz yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Cam elyaf malzeme, sahip olduğu yüksek mukavemet, hafiflik, esneklik, dayanıklılık, stabilite, ısıya, kimyasala ve neme karşı direnç gibi üstün özellikleri ile otomotiv üreticileri tarafından sıklıkla tercih edilmektedir [22]. Absorpsiyon katsayısı düşük olan malzemelerin iletim (bariyer) özelliğinin daha iyi olduğu görülmektedir. Otomotiv sektöründe, cam elyaf genel olarak bariyer görevi özelliği istenen malzemelerde kullanılmakta olup, elde edilen sonuçlarda bu bulguyu doğrular niteliktedir.



Şekil 5. Prototip numune 6 ve 7'ye ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği

PP/GF rijitlik ve akustik isterleri karşılayan bir malzemedir. Malzeme kompozisyonu 2 ile üretilen prototip numune 5, malzeme kompozisyonu 4 ile elde edilen prototip numune 6 ve malzeme kompozisyonu 5 ile elde edilen prototip numune 9'a ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği incelendiğinde prototip numune 6'nın 2000Hz ve üzerinde akustik performansının diğer iki numuneye göre daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeninin yapısında epoksi reçine ve karbon bulunması olduğu düşünülmektedir. Epoksi reçineler iki karbon ve bir oksijen atomundan oluşan üçlü halkanın bulunduğu epoksi gurubuyla tanımlanır. Epoksi gurubu diğer moleküllerle olan bağlanma noktasıdır ve elyaf yüzeyi gibi katı yüzeyler üzerinde yüksek adhezyon özelliğine sahiptir [23]. Adhezyon özelliği, epoksi malzemenin daha mukavim olmasını, fiziksel yapısının daha poroz olmasını sağlamaktadır ve bunun da ses absorpsiyon katsayısının daha iyi çıkmasının bir sebebi olduğu düşünülmektedir. Şekil 6'da prototip numune 5, 6 ve 9'a ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği verilmiştir.

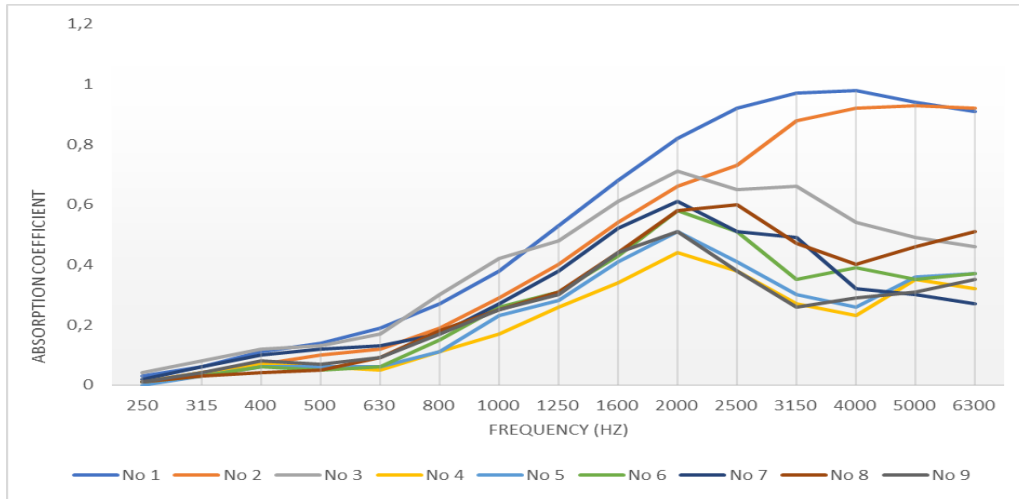


Şekil 6. Prototip numune 5, 6 ve 9'a ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği

Çalışma kapsamında üretilen tüm prototip numunelere ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği incelendiğinde ise, malzeme kompozisyonu 1 ile elde edilen prototip numunelerin 2000-4000Hz arasında akustik hedef olan ses yutum katsayısı $\alpha=1$ değerine en yakın sonucu verdiği görülmektedir. Bunun nedeninin bileşenlerin bağ yapılarının kompozit yapı içerisinde birbiri ile sağladığı uyum olduğu düşünülmektedir. Malzeme kompozisyonu 1 içerisinde sağlanan yapıya katılan her bir yeni bileşenin ses absorpsiyonu kötü yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu prototip numunelere ait empedans tüpü test sonuçları Tablo 3'te, ses yutum katsayısı-frekans grafiği ise Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 3. Prototip numunelere ait empedans tüpü test sonuçları

Frequency [Hz]	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8	No 9
250	0.03	0.01	0.04	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0.01
315	0.06	0.04	0.08	0.04	0.03	0.03	0.06	0.03	0.04
400	0.11	0.07	0.12	0.07	0.06	0.06	0.1	0.04	0.08
500	0.14	0.1	0.13	0.06	0.06	0.05	0.12	0.05	0.07
630	0.19	0.12	0.17	0.05	0.06	0.06	0.13	0.09	0.09
800	0.27	0.19	0.3	0.11	0.11	0.15	0.17	0.18	0.17
1000	0.38	0.29	0.42	0.17	0.23	0.26	0.27	0.25	0.25
1250	0.53	0.4	0.48	0.26	0.28	0.31	0.38	0.31	0.3
1600	0.68	0.54	0.61	0.34	0.41	0.43	0.52	0.44	0.44
2000	0.82	0.66	0.71	0.44	0.51	0.58	0.61	0.58	0.51
2500	0.92	0.73	0.65	0.38	0.41	0.51	0.51	0.6	0.38
3150	0.97	0.88	0.66	0.27	0.3	0.35	0.49	0.47	0.26
4000	0.98	0.92	0.54	0.23	0.26	0.39	0.32	0.4	0.29
5000	0.94	0.93	0.49	0.35	0.36	0.35	0.3	0.46	0.31
6300	0.91	0.92	0.46	0.32	0.37	0.37	0.27	0.51	0.35



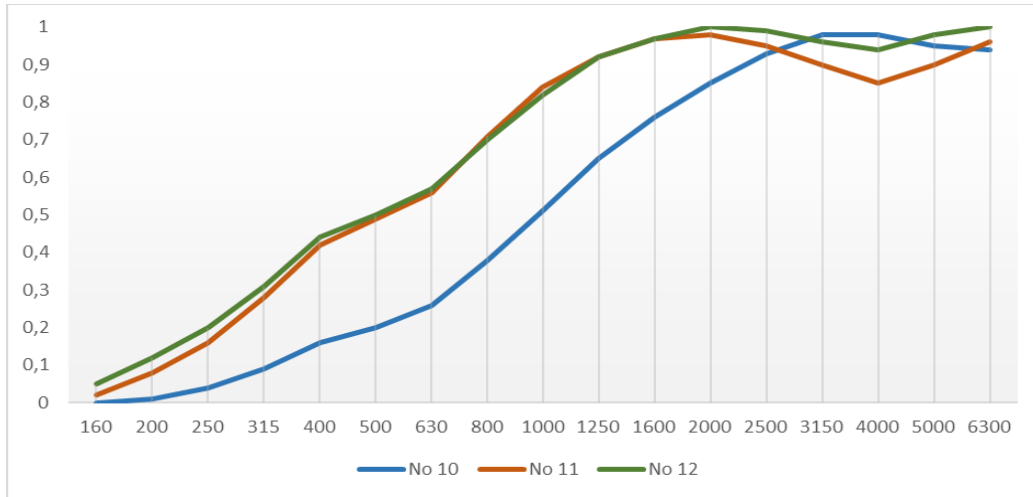
Şekil 7. Prototip numunelere ait ses yutum katsayısı-frekans grafiği

Kalınlığın akustik performansa etkisini incelemek üzere, en iyi akustik performansı gösteren malzeme kompozisyonu 1 ile hazırlanan farklı kalınlıklara sahip prototip numunelerin ses yutum katsayıları ölçülerek incelenmiştir. Tablo 4'te malzeme kompozisyonu 1 için kalınlık değişimine bağlı empedans tüpü test sonuçları, Şekil 8'de ise malzeme kompozisyonu 1 ile farklı kalınlıklarda üretilen prototip numunelerin ses yutum katsayısı-frekans grafiği verilmiştir. Söz konusu grafikten anlaşılacağı üzere, kalınlık arttıkça

malzemenin ses absorplama özelliği artmıştır. Bunun nedeni ses dalgalarının şiddetinin her bir katmanda azalmasıdır. Kalınlığın artması ile sesin kat ettiği mesafe artacaktır.

Tablo 4. Malzeme kompozisyonu 1 için kalınlık değişimine bağlı empedans tüpü test sonuçları

Frequency [Hz]	No 10	No 11	No 12
160	0	0.02	0.05
200	0.01	0.08	0.12
250	0.04	0.16	0.2
315	0.09	0.28	0.31
400	0.16	0.42	0.44
500	0.2	0.49	0.5
630	0.26	0.56	0.57
800	0.38	0.71	0.7
1000	0.51	0.84	0.82
1250	0.65	0.92	0.92
1600	0.76	0.97	0.97
2000	0.85	0.98	1
2500	0.93	0.95	0.99
3150	0.98	0.9	0.96
4000	0.98	0.85	0.94
5000	0.95	0.9	0.98
6300	0.94	0.96	1

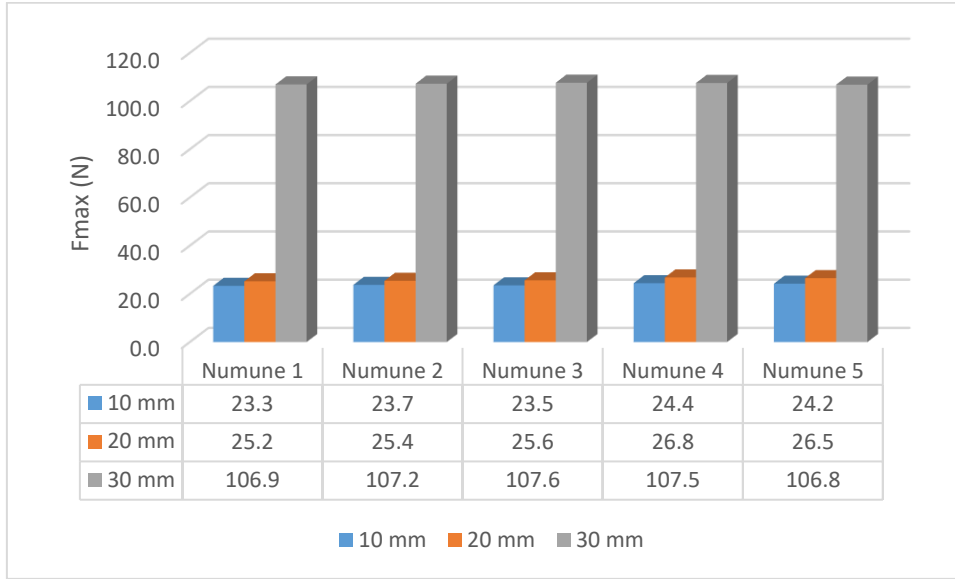


Şekil 8. Malzeme kompozisyonu 1 ile farklı kalınlıklarda üretilen prototip numunelerin ses yutum katsayısı-frekans grafiği

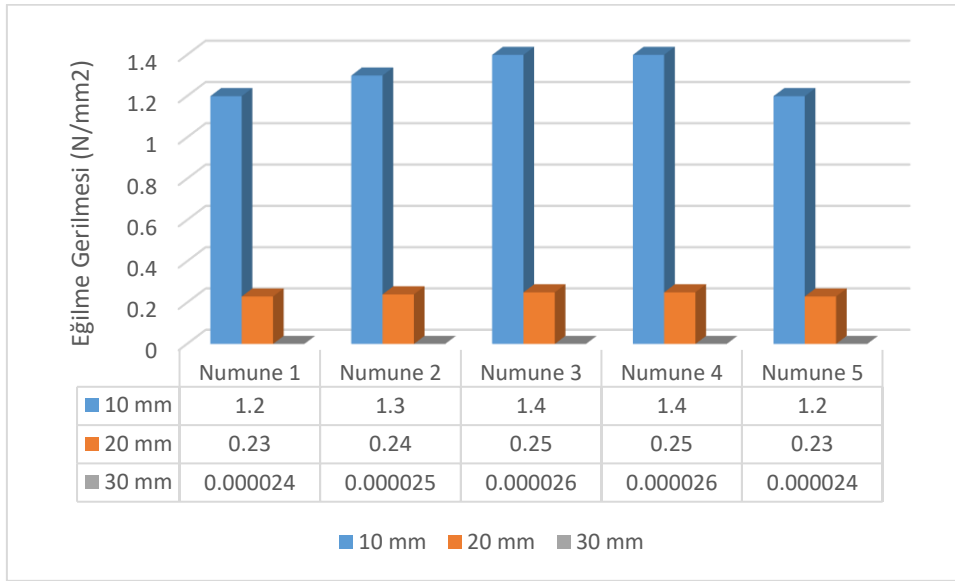
3.2. Eğilme Test Sonuçları

Çalışma kapsamında kalınlığın ses üzerindeki etkisini incelemek üzere, uzunlamasına yatay bir pozisyonda destekler üzerine konumlandırılan test numunelerinin tam ortasına test süresince artan değerlerde kuvvet uygulanmış ve her bir numune için elde edilen Fmax (maksimum kuvvet) değerleri Şekil 9'da Fmax kuvvetlerine karşılık gelen eğilme gerilmesi değerleri ise Şekil 10'da verilmiştir. Tablo 5'te farklı

kalınlıklardaki test numunelerin eğilme test sonuçlarına ait ortalama Fmax ve ortalama eğilme gerilmesi değerleri ayrıca verilmiştir.



Şekil 9. Farklı kalınlıklardaki test numunelerinin Fmax grafiği



Şekil 10. Farklı kalınlıklardaki test numunelerinin eğilme gerilmesi grafiği

Tablo 5. Farklı kalınlıklardaki test numunelerin eğilme test sonuçlarına ait ortalama Fmax ve ortalama eğilme gerilmesi sonuçları

Kalınlık (mm)	Uygulanan maksimum kuvvet (N)	Eğilme gerilmesi (N/mm ²)
10	23.8	1.3
20	25.9	0.24
30	107.2	2.5x10 ⁻⁵

3 nokta eğilme testi sonucunda, test numunelerinde herhangi bir kırılma ya da kopma yaşanmadığı ve buna ek olarak kalınlık arttıkça malzemenin yük dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bu da motor bölgesinde kullanılacak olan parçanın darbelere karşı dayanıklı olmasını sağlayacaktır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar

literatür ile uyumludur. Kompozit tabaka kalınlığının artmasıyla darbe direncinin arttığı literatürde belirtilmiştir [24].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ağır hizmet araçlarında gürültü kalkanı olarak kullanılmak üzere, ses ve ısı üreten yapıya bakacak yönde konumlandırılan alt katmanda taş yünü, gürültü kalkanı parçasının mukavemet ve akustik performansını arttırmakla görevli üst katmanda PP/GF, GF/EP, GF/PET, Karbon/EP, fenolik ve yapıştırıcı malzeme olarak PE film kullanılarak düz kalıpta, 190 °C sıcaklıkta ve 110 bar basınç altında kompozit sandviç yapılar oluşturulmuş ve bu yapıların empedans tüpünde ses yutum katsayıları ölçülerek akustik performansları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Akustik performans test sonuçları incelendiğinde, ses yutum katsayısı (α) 1 değerine en yakın olan kompozit sandviç yapının dıştan içe doğru iki kaplama telası arasında PP/GF, PE film, taş yünü içeren malzeme kompozisyonu 1 olduğu tespit edilmiştir. Kalınlığın akustik performansa ve mukavemete etkisini incelemek üzere, en iyi akustik performansı gösteren malzeme kompozisyonu 1 ile 10 mm, 20 mm ve 30 mm kalınlıklarında üretilen numunelere akustik performans ve 3 nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Elde edilen verilerden kalınlık arttıkça ses yutum kapasitesinin ve mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, motorlu araçlarda kullanılan gürültü kalkanı parçasının geliştirilmesinde uzmanlara destek olacak malzeme kompozisyonları ortaya koyulmuş olup, gelecekte farklı malzeme kompozisyonları ile NVH alanında çalışmak isteyen uzmanlara yol göstereceği bir düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar bu çalışmaya eşit katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar hiçbir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- [1] E. Karaman, *Recognition of vehicle models from engine sounds*, Master's Thesis Akdeniz University (2018) Antalya.
- [2] E. N. Keskin, *Investigation the surface and acoustic properties of polyurethanes produced with different monomer mixing ratios*, Master's Thesis Bursa Uludağ University (2023) Bursa.
- [3] P. Mallick, *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*, 2nd Edition, Woodhead Publishing, 2021.
- [4] N. Aktürk, O. Akdemir, İ. Üzkurt, *Environmental noise caused by traffic lights timing and traffic volume*, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 18 (1) (2003) 71–78.
- [5] D. R. Raichel, *The science and applications of acoustics*, 2nd Edition, Springer, Berlin, 2006.
- [6] E. Boztepe, *Investigation of relation between acoustic properties and heat conduction in automotive interior trim materials*, Master's Thesis Bursa Uludağ University (2018) Bursa.
- [7] G. Shen, *Vehicle noise, vibration, and sound quality*, Warendale, Penssylvania, 2012.
- [8] B. M. Spessert, H. S. Kochanowski, *Diesel engine noise emission*, in: K. Mollenhauer, H. Tschoeke (Eds.), *Handbook of Diesel Engines*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, Ch. 16, pp. 487–504.
- [9] P. B. Metinoğlu, *Effect of material and design in noise shields used in trucks*, Master's Thesis İstanbul

Technical University (2014) İstanbul.

- [10] M. A. Balci, *Research of the effect of engine beauty covers on vehicle's interior and exterior noises*, Master's Thesis Ege Üniversitesi (2022) İzmir.
- [11] X. Wang, *Vehicle noise and vibration refinement*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2010.
- [12] M. Tuzla, *Structural optimization of automobile upper components*, Master's Thesis Bursa Uludağ Üniversitesi (2022) Bursa.
- [13] F. A. Presezniak, L. Sofia, A Noise Shield Arrangement Comprising a Thermally Conductive Element – European Patent Application (EP4046875A1) (2021), <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074672147/publication/EP4046875A1?q=EP4046875A1>, Accessed 17 Nov 2023.
- [14] Y. Ulcay, M. Akyol, R. Gemci, *Investigation of different cure methods on the interfacial strength of polymer based fiber reinforced composites*, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering and Architecture 7 (1) (2002) 93–116.
- [15] A. Zent, J. T. Long, *Automotive sound absorbing material survey results*, Society of Automotive Engineering Noise and Vibration Conference and Exhibition, Illinois, 2007.
- [16] C. N. Wang, J. H. Torng, *Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials*, Applied Acoustics 62 (4) (2001) 447–459.
- [17] Ü. Esendemir, A. Y. Caner, *Experimental investigations on the impact behavior of laminated composite materials*, Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences 22 (1) (2018) 207–215.
- [18] O. Özdemir, H. Kandaş, *Thickness and temperature effects on the impact behavior of glass fiber reinforced polypropylene composites*, Journal of Textiles and Engineer 25 (110) (2018) 103–112.
- [19] İ. Aydın, *Measurement of sound absorption coefficients on the automotive isolation materials and determining the optimum material thickness*, Master's Thesis Gazi University (2008) Ankara.
- [20] T. Doğru, *Investigation of relation between acoustic properties and heat conduction in automotive interior trim materials*, Master's Thesis Bursa Uludağ University (2020) Bursa.
- [21] A. Kundt, *Acoustic experiments*, The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 35 (4) (1866) 41–48.
- [22] İ. Kocaoğlu, *Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı* (2021), <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/06/17/otomotiv-sektorunde-kompozit-malzeme-kullanimi/>, Accessed 17 Nov 2023.
- [23] M. Tanoğlu, M. Toğulga, *Kompozit malzemeler ve jeotermal uygulamaları*, Jeotermal Enerji Semineri (2005) 407–419.
- [24] W. A. de Morais, S. N. Monteiro, J. R. M. d'Almeida, *Effect of the laminate thickness on the composite strength to repeated low energy impacts*, Composite Structures 70 (2005) 223–228.