

TAŞITLARDA KULLANILAN YALITIM MALZEMELERİNİN SES YUTMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

İhsan BATMAZ*, İbrahim AYDIN**

* Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Beşevler, Ankara

** Ses, Titreşim ve Konfor Laboratuvarı, Tofaş, Bursa

ibatmaz@gazi.edu.tr, ibrahim.aydin@tofas.com.tr

(Geliş/Received: 09.12.2011; Kabul/Accepted: 20.09.2012)

ÖZET

İç gürültü faktörü günümüz tüketicisinin marka tercihinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Tüm otomotiv ana ve yan sanayi üreticileri bunun farkına varıp yatırımlarını bu yönde geliştirmektedirler. Günümüzün değişen ihtiyaçları ve otomotiv firmaları arasındaki süregelen rekabet yalıtım malzemelerinin de sürekli olarak gelişim içerisinde olmasını gerektirmektedir. Yalıtım malzemelerinin ses yutum katsayılarını belirlemek için değişik yöntemler kullanmak mümkündür. Bu çalışmada; otomobilin belirli bir bölgesinde kullanılmak üzere aynı kalınlık, farklı yapısal özelliklerdeki beş adet yalıtım malzemesinin, Empedans tüpü kullanılarak ses yutum katsayıları tespit edilmiştir. Bununla birlikte kalınlığın ses yutum katsayısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar malzemelerin yapısal özellikleri de göz önüne alınarak; birbirleri ile karşılaştırılmış, ayrıca iç gürültüde meydana getirdikleri değişiklikler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Empedans tüpü, Ses yutum katsayısı, Yalıtım malzemeleri

DETERMINATION OF THE SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS OF INSULATION MATERIALS USED ON VEHICLES

ABSTRACT

Interior noise factor plays an important role in today's customer's preference for vehicle brands. All car manufacturers and suppliers develop their investment in this respect. Today's changing needs and the competition having taken place among car manufacturers cause the isolators to be constantly upgraded. It is possible to use various methods to determine the sound absorption coefficient of the isolators. In this study, five isolators that have the same thickness and different structural features and that are to be used in a specific location of the car were selected, and their sound absorption coefficient were measured using an "Impedance Tube". The results obtained were compared to each other, considering the structural features of the materials, and the changes they created in the internal noise were also analyzed.

Key Words: Impedance tube, Sound absorption coefficient, Insulators

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv sektöründe birçok amaç için değişik tipte yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Günümüzün değişen ihtiyaçları ve otomotiv firmaları arasındaki süregelen rekabet, yalıtım malzemelerinin de sürekli olarak gelişim içerisinde olmasını gerektirmektedir. Üreticiler tarafından; motor, yol ve yapısal kaynaklı gürültülerin, sürücü ve yolcuları en az seviyede etkilemesi için yalıtım yeteneği yüksek fakat maliyeti

düşük yalıtım malzemelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Ses; kulak tarafından algılanabilen, hava, su ya da benzeri bir ortamdaki basınç değişimi olarak verilebilen ve dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklindedir. Gürültü ise, hoşça gitmeyen istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanabilir. Gürültünün rahatsız ediciliği, gürültünün yüksekliğinden, cinsinden ve değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Gürültünün insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz

etkileri görülmektedir. En önemli etkisi işitme duyusunu azaltmasıdır. Bundan başka; kas gerilmeleri, stres, kan basıncında artış, kalp atışları ve kan dolaşımının değişmesi, göz bebeğinin büyümesi ve uykusuzluk gibi fizyolojik etkilerinin yanında, sinir bozukluğu, korku, rahatsızlık, tedirginlik, yorgunluk, zihinsel etkinliklerde yavaşlama ve iş veriminin azalması gibi psikolojik etkileri görülmektedir[1].

Özellikleri bakımından çok çeşitlilik gösteren yalıtım malzemelerinin otomobillerin doğru bölgelerinde, doğru ebatlarda ve yoğunluklarda kullanılması müşterilerin tercihlerini değiştirmek açısından da çok önemlidir. Yanlış malzeme seçimi ile yüksek maliyetler karşılığında yetersiz yalıtım elde edilmektedir. Bu nedenle yalıtım malzemelerinde fiyat ve kalite açısından optimum seviyeyi yakalamak, yalıtım ve otomobil üreticileri açısından çok önemlidir. Taşıt geliştirme sürecinde, yalıtım malzemelerinin akustik karakteristiklerinin belirlenmesinde Empedans tüpü kullanılmaktadır. Ses, insan kulağının algılayabileceği basınç değişimi olarak tanımlanabilir. Bir ses kaynağı birim zamanda belli bir ses enerjisi (Joule) açığa çıkarır, yani belli bir güce (Watt = Joule/s) sahiptir. Bu, o ses kaynağının, çevresel etkenlerden bağımsız olarak, ne kadar akustik enerji üretebileceğinin bir ölçüsüdür. Üretilen enerji, odadaki ses basıncını yükselterek ortama yayılır. Herhangi bir noktadaki ses basıncı sadece kaynağın gücüne ve noktanın ses kaynağına olan uzaklığına değil, duvarlar tarafından emilen ses enerjisine ve camlardan veya kapıdan dış ortama iletilen ses enerjisine de bağlı olarak değişebilmektedir [2].

Bir ses kaynağı tarafından bir ses gücü üretildiğinde, kaynaktan komşu hava moleküllerine doğru bir enerji akışı meydana gelmektedir. Yayılan bu enerjinin belli bir yönde birim zamanda birim alandan geçen miktarına ses şiddeti (I) adı verilir. Yayılmakta olan enerji, geçtiği her noktada ses basınç değişimine sebebiyet vermektedir [3]. Sesin havadaki yayılımı dalgaların su yüzeyindeki meydana getirdiği hareket şekline benzemektedir [4].

Eşdeğer sürekli ses düzeyi, belirli bir zaman aralığında ölçülen anlık ses basınç değerlerinin ihtiva ettiği toplam akustik enerjinin ölçüm süresine bölünmesi yoluyla elde edilen ve elektronik olarak hesaplanan ortalama RMS düzeyidir. Ses etkinim düzeyi, uçakların kalkış ve iniş gürültülerinin tek bir değerle ifade edilebilmesini sağlar. Ölçüm cihazlarında kaydedilen teknolojik ilerlemeler sayesinde SEL parametresi doğrudan doğruya cihaz üzerinden takip edilebilir bir hale gelmiş ve farklı noktadaki gürültülerin birleştirilmesi veya karşılaştırılması amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır [5].

ISO 1996 standardına göre ses ölçümleri sırasında mikrofonun yerleştirileceği pozisyon iç ve dış mekan

ölçümlerinde yerden 1,2 - 1,5 m yüksekte olmalıdır [6].

Ölçümler sırasında ses ölçüm cihazı elle tutulmalı veya tripod üzerine yerleştirilmelidir. Elde tutularak yapılan ölçümlerde, kol mümkün olduğu kadar açık tutularak cihazın bedenden uzakta durması ve yan dönerek vücuttan kaynaklanabilecek yansımaların en aza indirilmesi gerekmektedir. Cihazın tripod üzerine yerleştirildiği ölçümlerde ise, kullanıcının mikrofondan en az 0,5 m geride ve 0,5 m yanda bulunmalıdır [7].

Ölçümlere başlamadan önce ses ölçüm cihazının kalibrasyonu gerekmektedir. Bu işlem yüksek hassasiyetle doğru sonuçların elde edilmesini ve daha önce yapılmış olan ölçümlerle de karşılaştırılabilirliği sağlamaktadır [8].

Sesin yayılma alanı içerisinde bulunan nesnelere kırımına yol açabilmektedir. Kırımının etkisini hesaplayabilmek için engelin boyutlarının sesin dalgaboyuna oranını karşılaştırmak gerekmektedir [9]. Ses, dalga boyundan daha büyük engellere çarptığında yansıma meydana gelmektedir. Engelin ses yutma özelliği yok ise, yansıyan ses enerjisi gelen ses enerjisi ile hemen hemen aynı enerji düzeyinde olmaktadır [10].

Frekans analizi bir sinyalin hangi büyüklükteki hangi frekans bileşenlerinden meydana geldiğini gösterir [11]. Elde edilen frekans bileşenlerinin sayısı analizin hassasiyetini belirleyen bir faktör olup genellikle kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

Ses yutma katsayısı testinde yüksek frekanslar için küçük tüp (R 30mm), düşük frekanslar için büyük tüp (R 60 ~ 100mm) kullanılmaktadır. Yapılan testler sonrasında düşük frekans ve yüksek frekans ölçümleri birleştirilir. Ortak frekans bölgesinde interpolasyon yapılarak süresiz bir eğri elde edilmektedir [12].

Nihai üründe, malzeme kalınlığı değişkendir. Empedans tüpüne konan malzemenin kalınlığının sabit olması gerekmektedir. Malzeme kalınlığı değiştikçe, ses yutma katsayısındaki değişim tahmin edilemeyecek şekilde farklılaşmaktadır [13].

Boyutları standart odanın üçte biri olan bir yankılanma odası, yutma katsayısının ölçülmesi için en pratik çözümdür ancak maliyeti empedans tüpüne göre yüksek olmaktadır. Bu odalarda kullanılacak en büyük test örneği boyutu 1,2 m²'dir. Oda tasarımı ses dağılımının homojenliğini sağlayacak şekilde yapılmaktadır. Bu odalara alfa-kabin ismi de verilmektedir. Ses yutma katsayısının hesaplanmasında ölçüm metodu olarak yankılanma süresi temel alınmaktadır. Bu sebeple alfa kabinler, yansıma katsayısı ve empedans ölçümleri için kullanılamamaktadır [14]. Bu testlerin empedans tüpü

ile yapılması mümkündür. Ancak; yutma katsayısı ölçümlerinde olduğu gibi malzeme üç yönlü yüklerle değil, tek yönlü bir yük altında iken ses iletim katsayısı tespiti yapılabilmektedir [15].

Bu çalışmada; otomobilin belirli bir bölgesinde kullanılmak üzere aynı kalınlık farklı yapısal özelliklerdeki beş adet izolatörün “Empedans Tüpü” kullanılarak karşılaştırılması yapılmıştır. Empedans Tüpü ölçümleri sonucu yalıtım malzemelerinin yutma katsayıları tespit edilerek ideal yalıtım malzemesi ile dinamik testler gerçekleştirilmiş ve empedans tüpü ölçümlerinin sağlanması yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar yapılırken yalıtım malzemeleri konusunda bilgi birikiminin artırılması ve taşıt geliştirme safhalarında sürecin kısaltılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

Deneyel çalışmalar TOFAŞ Ar-Ge NVH ve Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan deney seti, empedans tüpü, 1/4” mikrofonlar (Free field özellikli), veri toplama cihazı (Scadas), güç kaynağı (Dynacord), dizüstü bilgisayar (LMS-Test Lab yazılımı) ve yalıtımlı BNC kablolardan oluşmaktadır. Şekil 1’de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Deney setinin genel görünümü (General view of the experimental setup)

Deneylerde kullanılan *Empedans Tüpünün* özellikleri şu şekildedir;

- Büyük tüpün uzunluğu 500 mm ve iç çapı 60 mm,
- Hoparlör çapı 4”, gücü 20 watt (8Ω), çalışma frekansı aralığı 20 Hz ~ 8000Hz,
- M0 - M1 mikrofonları arasındaki mesafe: 170 mm (Çalışma frekansı 100 ~ 800 Hz),
- M1 – M2 mikrofonları arasındaki mesafe: 45 mm (Çalışma frekansı 400 ~ 2500 Hz),
- M2 - Numune arasındaki mesafe: 35 mm,
- Küçük tüpün uzunluğu 385 mm ve iç çapı 30 mm,
- M5 - M6 mikrofonları arasındaki mesafe: 22,5 mm (Çalışma frekansı 1600 ~ 6300Hz),
- M6 - Numune arasındaki mesafe: 40 mm.

Çalışmada ses yutma katsayılarını belirlemek üzere farklı oranlarda etilen propilen dien momoner (EPDM) ve poliüretan (PU) içeren beş farklı izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Test numunelerine ait yapısal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Ölçümlere başlamadan önce 1/4” mikrofonlar kalibre edilmiştir. Ölçümler, mikrofonların belirtilen pozisyonlara yerleştirilmesiyle ve belirtilen frekans aralığında yapılmıştır. Mikrofon uyumsuzluğunu gidermek amacıyla mikrofonlar yer değiştirilerek iki farklı konfigürasyon kullanılmıştır.

Her bir pozisyon için 45 s süreyle 5 ayrı veri toplanmıştır. Ölçüm sonunda mikrofonlar arasındaki transfer fonksiyonları çıkarılmış, her frekans değerine karşılık gelen gerçek ve sanal değerler hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanarak faz açısı (Φ) hesaplanmıştır. Faz açısı ve transfer fonksiyonu değerlerinden yararlanarak kalibrasyon faktörü (H_C) hesaplanmıştır. Kalibrasyon faktörü, Test Lab programından ölçüm sonucu elde edilen transfer fonksiyonu değerlerine oranlanarak ölçümleme hatasının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Dalga numarası, her frekans değerine ve ses hızına göre 1 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$k_0 = \omega / c_0 = 2\pi f / c_0 \quad (1)$$

Test numunesi ile uzak mikrofon arasındaki mesafe (x_1) ve dalga numarasına (k_0) bağlı olarak yansıma faktörü (r) için gerekli olan katsayı 2 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$e^{2jk_0x_1} \quad (2)$$

Yutma katsayısını 3 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (3)$$

Mikrofon pozisyonlarına göre çalışma frekansları değiştiği için (100 ~ 800 Hz, 400 ~ 2500 Hz ve 1600 ~ 6300 Hz) üç farklı çalışma aralığında ölçümler alınmış ve sonuçlar birleştirilerek frekansa bağlı alfa değerlerinin grafikleri çıkarılmıştır.

Test numunesinin yerleştirilmesinden sonra akustik özelliklerinin belirlenmesi için ilk aşama referans düzeyinin tanımlanmasıdır ($x=0$). Eğer test numunesi düz veya yanal bir yüze sahipse test numunesinin önünde bir miktar mesafe yer alacaktır. Referans düzleminden en yakın mikrofonu olan bu mesafe empedans tüpünün boyu ile orantılı olmaktadır.

Tablo 1. Test numunelerinin yapısal özellikleri (Structural properties of the test samples)

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Malzeme	EPDM + %20 Keçe	PU + %27 Keçe	PU + %20 Keçe	PU + %30 Keçe	PU + %25 Keçe
Yoğunluk (kg/m ³)	180	110	75	70	90
Sertlik (N)	< 10	>300	> 120	> 200	> 220
Çekme mukavemeti (kPa)	> 100	> 85	> 20	> 75	> 100

Ses hızı 4 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$c_0 = 343,2 \sqrt{T / 293} \quad (4)$$

Burada, T, sıcaklık (K), C₀, ses hızıdır (m/s).

Ses hızı hesaplandıktan sonra dalga boyu 5 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\lambda_0 = c_0 / f \quad (5)$$

Kalibrasyon faktörünün önceden belirlenmesi işlemi bütün birbirini takip eden ölçümler için geçerli düzeltmelerin ve özel bir kalibrasyon modelinin kullanıldığı bir prosedürdür. Aynı matematiksel işlemler kullanılarak, tüpteki numune üzerindeki güçlü akustik yansımaları engelleyebilmek için H_{12}^I ve H_{12}^{II} ölçülmektedir.

Transfer fonksiyonu H_{12}^{II} kullanılarak “Kalibrasyon Faktörü (H_C)” 6 nolu eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_C = (H_{12}^I \cdot H_{21}^{II})^{1/2} = |H_C| e^{j\phi_C} \quad (6)$$

Burada, H_{12} , mikrofonların ilk konumundaki transfer fonksiyonu, H_{12}^{II} , mikrofonların yer değişimi sonrası transfer fonksiyonudur.

Kalibrasyon faktörü, mikrofonların yer değiştirmesi ile tespit edilen transfer fonksiyonları yukarıdaki gibi hesaplandıktan sonra; ölçümün devamında, mikrofonlar ilk durumdaki konumlarına getirilerek ölçüme devam edilmiştir.

$$\hat{H}_{12} = |\hat{H}_{12}| e^{j\hat{\phi}} = \hat{H}_r + j \hat{H}_i \quad (7)$$

Burada, \hat{H}_{12} , doğrulanmamış transfer fonksiyonu, $\hat{\phi}$, doğrulanmamış faz açısı, \hat{H}_r , \hat{H}_{12} 'nin gerçek kısmı, \hat{H}_i , \hat{H}_{12} 'nin sanal kısmıdır.

Mikrofonlardaki uygunsuzlukları gidermek için 8 nolu eşitlik kullanılmaktadır.

$$H_{12} = |H_{12}| e^{j\phi} = \frac{\hat{H}_{12}}{H_C} \quad (8)$$

Yansıma faktörü 9 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$r = |r| e^{j\phi_r} = r_r + jr_i = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0x_1} \quad (9)$$

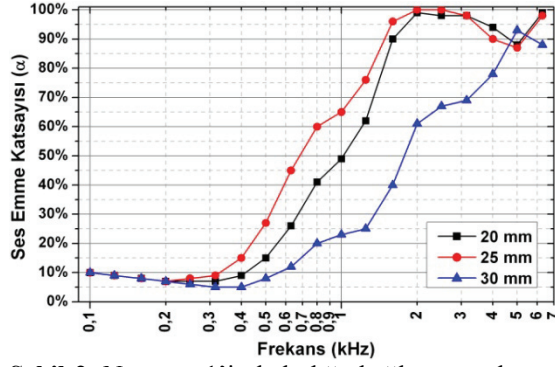
Burada, r_r , gerçek bileşen, r_i , sanal bileşen, x_1 , test numunesi ile uzak mikrofon arasındaki mesafe, ϕ_r , yansıma faktörünün faz açısı, H_I , gelen ses dalgasının transfer fonksiyonu, H_R , yansıyan ses dalgasının transfer fonksiyonudur.

Ses yutma katsayısının belirlenmesinde 10 numaralı eşitlikten yararlanılır.

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (10)$$

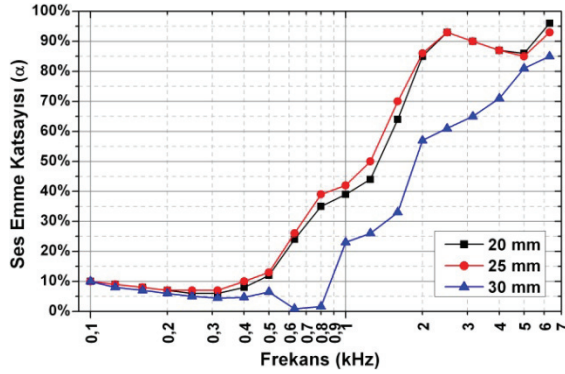
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 2’de numune 1 için hesaplanan yutma katsayısı eğrileri görülmektedir. Numune 1 için en uygun kalınlığın 25 mm olduğu grafikten görülmektedir. 25 mm kalınlık için elde edilen sonuçlara göre, özellikle 400 ~ 2000 Hz aralığında kayda değer bir iyileşme olduğu, 2000 ~ 6300 Hz aralığında ise kalınlık artmasına rağmen yutma katsayısının neredeyse ilk durumla aynı kaldığı görülmüştür. Kalınlık 30mm’ye çıkartılarak yapılan ölçümlerde yutma katsayısı değerlerinin 400 ~ 5000 Hz aralığında kötüleştiği görülmektedir. Buradan kritik malzeme kalınlığının aşıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Numune 1'in kalınlığa bağlı yutma katsayısı değişimi (Variation of sound absorption coefficient of sample 1 with different tickness)

Şekil 3'te numune 2 için hesaplanan yutma katsayısı eğrileri görülmektedir.



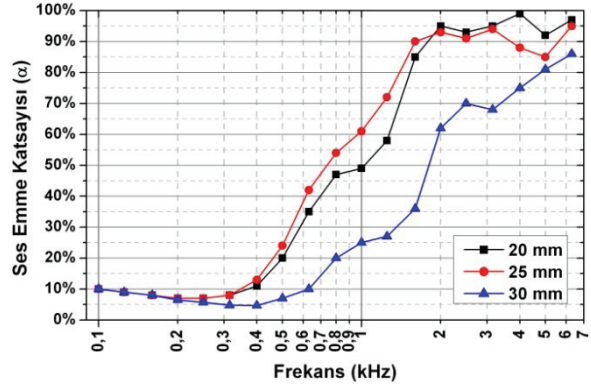
Şekil 3. Numune 2'nin kalınlığa bağlı yutma katsayısı değişimi (Variation of sound absorption coefficient of sample 2 with different tickness)

20mm ve 25mm kalınlık değerleri için sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Bu durumda uygulama kalınlığı seçiminde maliyetler önem kazanmaktadır. 25 mm kalınlık için yapılan testler sonucunda yutma katsayısı değerlerinde, 630 ~ 2000 Hz frekans aralığında 20 mm kalınlığa göre az da olsa iyileşme olduğu, 2000 ~ 6300 Hz aralığında ise artan kalınlığın hiçbir faydasının olmadığı görülmüştür. Kalınlık 30 mm'ye çıkartıldığında ise 400 ~ 6300 Hz aralığında ilk kalınlık değerine göre kötüleşme görülmektedir. Özellikle 500 ~ 800 Hz aralığında malzemenin neredeyse hiç emilim yapmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 4'te numune 3 için elde edilen sonuçlara göre en iyi değerler 20 ve 25 mm kalınlıkta elde edilmiştir. 25 mm için yapılan testler sonucunda yutma katsayısı değerlerinde, 400 ~ 2000 Hz frekans aralığında iyileşme olmasına rağmen, 2000 ~ 6300 Hz aralığında ilk duruma oranla daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir.

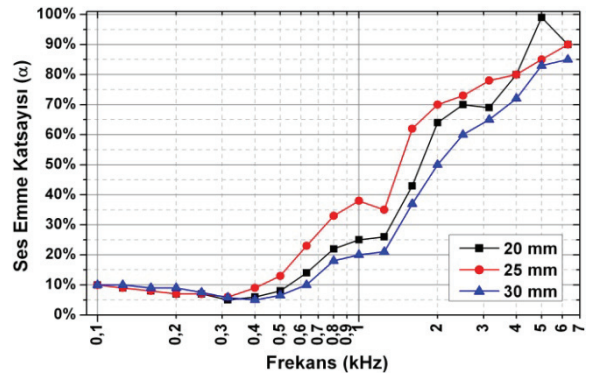
Kalınlık 30 mm'ye çıkartılarak yapılan ölçümlerde genel olarak yutma katsayısı değerlerinin 20 mm ve 25 mm'lik durumlara göre kötüleştiği görülmektedir. Değişen kalınlıklara göre hesaplanan yutma katsayısı değerlerine bakılarak, 3 numaralı numune için 25

mm'lik izolatör 400 ~ 2000 Hz aralığında 20 mm'lik izolatöre göre daha iyi sonuçlar verdiği için daha uygundur.



Şekil 4. Numune 3'ün kalınlığa bağlı yutma katsayısı değişimi (Variation of sound absorption coefficient of sample 3 with different tickness)

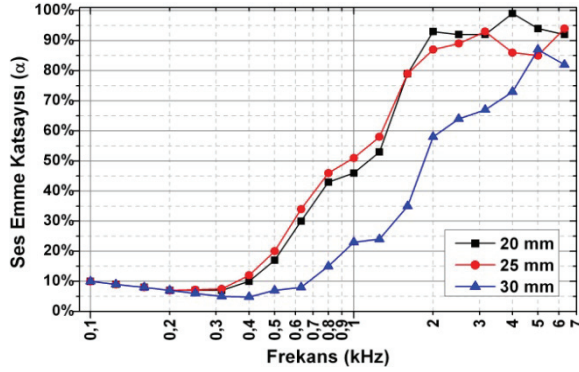
Şekil 5'te numune 4 için elde edilen grafikler görülmektedir. Grafikten 25 mm malzeme kalınlığının neredeyse tüm frekans aralığı için en iyi sonucu verdiği görülmektedir. 25 mm kalınlık için yapılan testler sonucunda yutma katsayısı değerlerinde, 400 ~ 4000 Hz frekans aralığında 20 mm'lik duruma göre daha iyi yutma katsayısı elde edildiği görülmektedir. 4000 ~ 6300 Hz aralığında ise kalınlığı artırmanın ters etki yaptığı, daha kötü yutma katsayısı değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Kalınlık 30 mm'ye çıkartılarak yapılan ölçümlerde yutma katsayısı değerlerinin 400 ~ 6300 Hz aralığında 20 mm ve 25 mm'lik durumlara göre daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5. Numune 4'ün kalınlığa bağlı yutma katsayısı değişimi (Variation of sound absorption coefficient of sample 4 with different tickness)

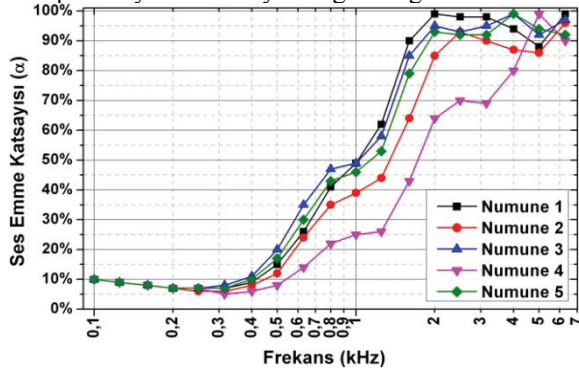
Şekil 6'da numune 5 için hesaplanan yutma katsayısı eğrileri görülmektedir. Tüm frekans aralığında 20 ve 25 mm kalınlığındaki malzemelerle alınan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. 25 mm kalınlık için yapılan testler sonucunda yutma katsayısı değerlerinde, 400 ~ 1600 Hz frekans aralığında 20 mm'lik duruma göre daha iyi yutma katsayısı değerleri verdiği halde 1600 ~ 6300 Hz aralığında daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. 25 mm

kalınlığa sahip izolator yüksek frekanslarda sönümleme yapamamaktadır. Kalınlık 30 mm'ye çıkartılarak yapılan ölçümlerde yutma katsayısı değerlerinin 400 ~ 6300 Hz aralığında 20 mm ve 25 mm'lik durumlara göre daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 6. Numune 5'in kalınlığa bağlı yutma katsayısı değişimi (Variation of sound absorption coefficient of sample 5 with different tickness)

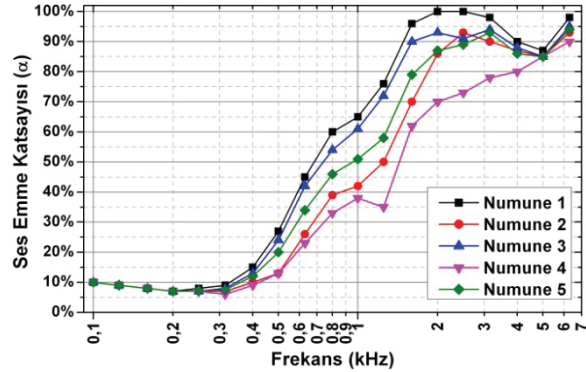
Şekil 7'de her bir numune için 20 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayısı değerleri görülmektedir.



Şekil 7. Bütün numunelerin 20 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayılarının değişimi (Variation of sound absorption coefficients of all samples with 20 mm tickness)

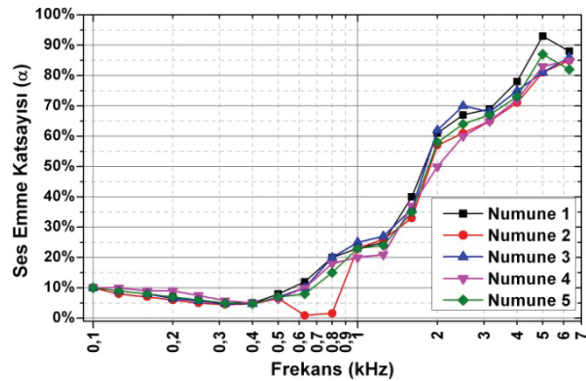
Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde; numune 3'ün 400 ~ 1000 Hz aralığında en iyi yutma katsayısı değerlerine sahip olduğu ancak, 1000 Hz ve üzerinde numune 1'in diğer numunelere göre çok daha iyi yutma katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 20 mm kalınlık için en kötü yutma katsayısı değerlerini ise numune 4 vermiştir. 400 Hz'e kadar tüm numuneler yaklaşık olarak aynı sonuçları vermiştir. Şekil 8'de her bir numune için 25 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayısı değerleri karşılaştırılmaktadır. Buna göre; tüm malzemelerin yutma katsayısı değerlerinde genel olarak iyileşme meydana geldiği tespit edilmiştir. 315 Hz'e kadar neredeyse eşit olan yutma katsayısı değerleri bu frekanstan sonra her bir numune için artış göstermiştir. Numune 1 4000 ~ 5000 Hz aralığında her ne kadar düşüş göstermiş olsa da, genel olarak 400 ~ 6300 Hz aralığında diğer numunelerden daha

iyi yutma katsayısı değerlerine sahiptir. Burada yine en kötü yutma katsayısı değerleri numune 4'e aittir.



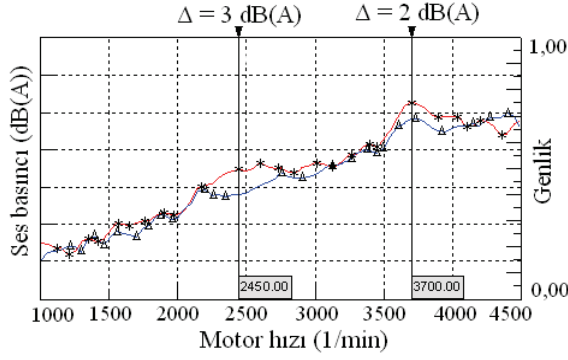
Şekil 8. Bütün numunelerin 25 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayılarının değişimi (Variation of sound absorption coefficients of all samples with 25 mm tickness)

Şekil 9'da her bir numune için 30 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayısı değerleri görülmektedir. Buna göre tüm malzemelerin yutma katsayısı değerlerinde genel olarak kötüleşme meydana geldiği tespit edilmiştir. 100 ~ 500 Hz ve 1250 ~ 2000 Hz aralığında tüm numuneler neredeyse aynı yutma katsayısı değerlerine sahiptirler. Numune 2'de ise 500 ~ 1000 Hz aralığında yutma katsayısında düşüş gözlemlenmektedir. Bu düşüş, kalınlık arttıkça malzemenin akustik karakteristiğinin tahmin edilemeyecek kadar farklı yönlerde değişebileceğini göstermektedir.



Şekil 9. Bütün numunelerin 30 mm kalınlıkta hesaplanan yutma katsayılarının değişimi (Variation of sound absorption coefficients of all samples with 30 mm tickness)

Şekil 10'da taşıt üzerinde yapılan iç gürültü testlerinin toplam seviye eğrileri gösterilmiştir. * işareti ile gösterilen eğri taşıtın güncel izolator takılı durumunu gösterirken, Δ işaretli ise, empedans tüpü ölçümleri sonucunda seçilmiş olan malzemeden üretilmiş izolator takılı durumdaki iç gürültü eğrisini göstermektedir.



Şekil 10. Taşıt iç gürültü toplam seviye eğrileri (Total interior noise level curves of the test vehicle)

4. DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Bu çalışmada çift odalı empedans tüpü kullanılarak, farklı yapısal özelliklere sahip 5 adet izolatör için, kalınlık değeri eşit oranlarda değiştirilerek yutma katsayısındaki değişimler gözlenmiş ve en uygun malzeme ve malzeme kalınlığı tespit edilmiştir. Ayrıca empedans tüpü sonuçlarına göre en uygun izolatör ile güncel izolatör taşıt üzerinde dinamik olarak yapılan testlerle karşılaştırılarak empedans tüpünden elde edilen değerlerin sağlanması da yapılmıştır.

İlk aşamada farklı yapısal özelliklere sahip izolatörler için 20 mm kalınlıkta yutma katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. İkinci ve üçüncü aşamalarda ise tüm izolatörlerin kalınlıkları sırasıyla 25 mm ve 30 mm'ye çıkartılarak empedans tüpü testleri tekrarlanmıştır. Böylece malzeme kalınlığındaki değişimin yutma katsayısı üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.

Özellikle 25 mm kalınlık değerinde tüm malzemelerin yutma katsayılarında yükselme tespit edilmiştir. En iyi sonuçların alındığı 25 mm kalınlıkta en uygun malzeme numune 1'dir. 30 mm kalınlık değerinde yapılan yutma katsayısı test sonuçları incelendiğinde ise malzemelerin kalınlık değerleri artırıldığı halde yutma katsayılarında kötüleşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kalınlığın artırılmasının yutma katsayısı üzerinde doğru orantılı bir etki yaratmadığını, hatta kritik kalınlık değeri aşıldığında yutma katsayısı üzerinde negatif bir etki de yaratabildiğini göstermektedir. Ancak empedans tüpü ölçümlerinde malzemenin gerçekte olduğu gibi üç boyutlu yüklere maruz kalmadığı unutulmamalıdır.

Taşıt üzerinde yapılan iç gürültü ölçümleri neticesinde; en uygun malzemenin üretilen izolatör (25 mm kalınlıktaki numune 1), ile taşıta halî hazırda kullanılmakta olan izolatör arasında aynı araç üzerinde, aynı hava ve yol şartlarında, 2450 1/min'de 3 dB(A), 3700 1/min'de ise 2 dB(A)'lık iyileşme sağlandığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. ÖZGÜVEN, N., "Endüstriyel Gürültü Kontrolü", **TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:118**, 1986.
2. Kinsler, E. L. ve Frey, A.R., *Fundamentals of Acoustics*, **John Wiley & Sons Inc., New York**, 27-35, 1950.
3. Beranek, L. L., *Acoustics*, **American Institute of Physics Inc., New York**, 9-12, 1986.
4. Mankovsky, V. S., *Acoustics of Studios and Auditoria*, **Focal Press, London**, 8-15, 1980.
5. Randall, R. B., *Frequency Analysis*, **Brüel & Kjær, Copenhagen**, 28-43, 1987.
6. Garai, M., "Measurement of The Sound Absorption Coefficient in Situ: The Reflection Method Using Periodic Pseudo-Random Sequences of Maximum Length", **Applied Acoustics**, Cilt 39, No 1-2, 119-139, 1993.
7. ISO 10534-2, "Acoustics - Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance tubes", **International Organization for Standardization**, 9-14, 1998.
8. Rasmussen, G., *Intensity Measurements*, **Brüel & Kjær, Naerum**, 11-19, 1988.
9. Yunseon, R., *The Acoustic Impedance Measurement System Using Two Microphones*, **Brüel&Kjær, Denmark**, 4-7, 2003.
10. Skinner, C. ve Peters, J., "Acoustic Absorbers: A Third Way for The Management of Sound in Cars", **UTECH Europe, Amsterdam**, 1-4, 2006.
11. Can, H., *Empirical and Numerical Analysis and Improvement of Acoustic Isolation Materials*, **PhD Thesis, Balıkesir University Institute of Sciences**, 1999.
12. Lee, S. H., Ih, J. G. ve Peat, K. S., "A Model of Acoustic Impedance of Perforated Plates with Bias Flow Considering The Interaction Effect", **Journal of Sound and Vibration**, Cilt 303, No 3-5, 741-752, 2007.
13. Castagnede, B., Moussatov, A., Lafarge, D. ve Saeid, M., "Low Frequency in Situ Metrology of Absorption and Dispersion of Sound Absorbing Porous Materials Based on High Power Ultrasonic Non- Linearly Demodulated Waves", **Applied Acoustics**, Cilt 69, No 7, 634-648, 2008.
14. Too, G. P. J., Chen, S.R. ve Hwang, S., "Inversion for Acoustic Impedance of a Wall by Using Artificial Neural Network", **Applied Acoustics**, Cilt 68, No 4, 377-389, 2006.
15. Pico, R. ve Gautier, F., "The Vibroacoustics of Slightly Distorted Cylindrical Shells: Acoustic Impedance", **Journal of Sound and Vibration**, Cilt 302, No 1-2, 18-38, 2006.

