

ARAÇ KAPI SIZDIRMAZLIK PROFİLLERİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN SES İLETİM KAYBININ MODELLENMESİ VE DENEYSEL OLARAK DOĞRULANMASI

Orçun Saf*, Tuncay Yüksel*, Ahmet Çağlayan, Burak Erdal****

* STANDARD PROFİL, DÜZCE
** BİAS MÜHENDİSLİK, İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kauçuk malzemelere ait sonlu elemanlar modeli için yapılacak vibro akustik çözümlere ait malzeme parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla tersine bir yaklaşım kullanılarak, ses iletim kaybı eğrileri üzerinden malzeme ile ilgili temel parametreler ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında, ses iletim kaybına etki eden malzeme özellikleri incelenmiş, araç kapı fitillerinin akustik tasarım aşamasına girdi oluşturacak veriler derlenmiştir. Sonrasında ise elde edilen veriler ışığında bir sızdırmazlık profili nümerik yöntemler ile modellenerek ses iletim kaybı eğrileri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ses İletim Kaybı, Araç Sızdırmazlık Profilleri, Kapı Fiteli, Vibro-Akustik Analiz

On the Modelling and Experimentally Validation of Sound Transmission Loss Through Car Door Sealing Materials

ABSTRACT

The aim of this study is to determine structural properties of car door sealing materials by using sound transmission loss measurements. The material properties than used for diffuse field sound transmission loss analysis of car door seal systems. In addition, the material parameters are investigated for initial acoustic design process of car door sealing systems.

Keywords: Sound Transmission Loss, Car Door Seal, Vibro-Acoustic Analysis

1. GİRİŞ

Araç kapı fitilleri çevresel etkilere karşı aracın sızdırmazlığının yanında rüzgar gürültüsünün kabin içi izolasyonunda da önemli rol oynamaktadır. Özellikle yüksek hızlarda, Gürültü ve titreşim konforunun sağlanması için yüksek ses iletim kaybına (TL) sahip sızdırmazlık profillerinin kullanılması gerekmektedir.

Fitillerde kullanılan malzemeler, sızdırmazlığı sağlayacak, non-linear şekil değişimlerinin olduğu ve gerilme-şekil değiştirme eğrisinde elastik malzemeler gibi bir linear davranışa sahip olmayan, visko-elastik malzemelerdir. Bu tür malzemeler için

tek bir elastisite modülünden ve sönüm oranından bahsetmek söz konusu değildir.

Visko-elastik malzemelerin elastisite modülü ve sönüm oranı, dinamik tahrik altında frekansa bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada, yoğunluğu ve Poisson Oranı bilinen, elastisite modülü ve sönüm oranları bilinmeyen üç farklı türde visko-elastik malzeme için Ses İletim Kaybı Ölçümleri ve sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır.

Sonlu elemanlar modeli üzerinde bilinmeyen parametreler, ölçüm sonuçlarına göre tahmin edilmiştir. Malzeme özelliklerinin ses iletim kaybına olan etkisi parametrik olarak incelenmiş, elde edilen

sonuçlar, kapı fitillerinin akustik tasarım aşamasına bir girdi oluşturmuştur.

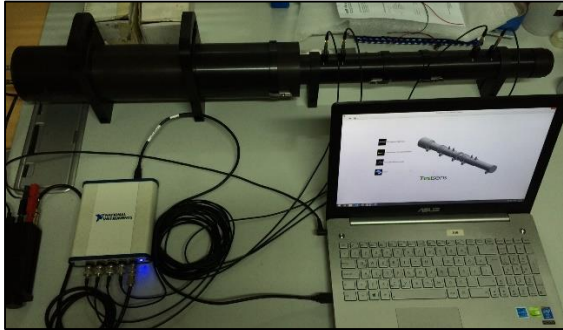
Bu tersine yaklaşımın yine akustik analizlerinde kullanılması ile birlikte amprik yöntemler ile elde edilen daha temel bir parametre kullanılacağı ön görülmüştür.

2. SES İLETİM KAYBI ÖLÇÜMLERİ

Kapı fitili malzemelerinin Ses İletim Kaybı Ölçümleri için Bias TestSENS MTL – MAB ölçüm sistemi kullanılmıştır.

ASTM-E 2611 (4 Pole Transfer Matrix Method) standardına göre, 50 mm'lik iç çapa sahip tüp ile, fitil malzemelerinin ses iletim kayıpları 200 Hz – 4000 Hz arasında ölçülmüştür.

Şekil 1'de ses iletim kaybı ölçüm sistemi gösterilmektedir.



Şekil 1 Ses İletim Kaybı Ölçüm Sistemi

Ölçümlerde ortam sıcaklığı 22 °C, sinyal işleme parametreleri ise aşağıdaki gibidir.

Frekans Çözünürlüğü: 4 Hz

Ortalama Sayısı: 48

Ölçüm Süresi: 12 s

“Compound” malzemeler ile Şekil 2’de gösterilen basit fitil geometrisinin dairesel tarafı iki bacağından kesilerek elde edilen “Sponge” olarak isimlendirilen malzemelerin ses iletim kaybı ölçülmüştür.

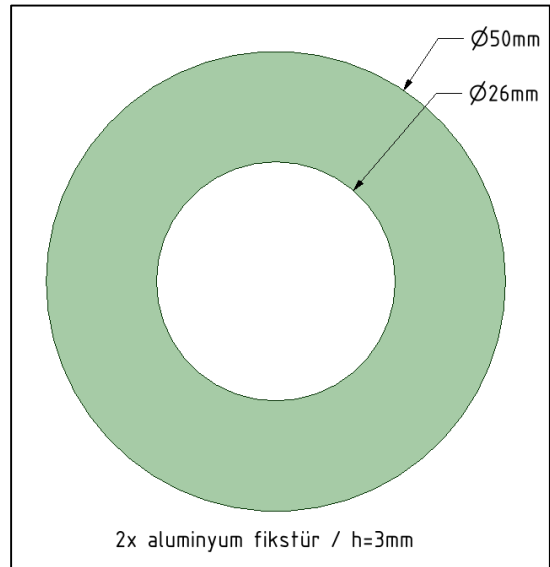


Şekil 2 “Sponge” Malzeme Numunesinin Çıkarıldığı Fitol

Numuneler, malzeme tutucuya Şekil 3’te gösterilen adaptör ile yerleştirilmiş, adaptör ve numunenin boyutları akustik analiz modelinde de yer almıştır.



Şekil 3 Adaptör



Şekil 4 Adaptör Boyutları

3. AKUSTİK ANALİZLER

Ses İletim Kaybı (Sound Transmission Loss): Malzemenin girişindeki toplam ses gücünün malzemenin çıkışındaki toplam ses gücüne oranı olarak tanımlanır.

$$TL = 10 \log \left(\frac{W_{giris}}{W_{cikis}} \right) = 20 \log \left(\frac{p_{giris}}{p_{cikis}} \right) \quad [dB]$$

TL: Ses İletim Kaybı [dB]

W_{giris}: Giriş yüzeyindeki toplam ses gücü [W]

W_{çıkış}: Çıkış yüzeyindeki toplam ses gücü [W]

p_{giris}: Giriş yüzeyindeki toplam ses basıncı [Pa]

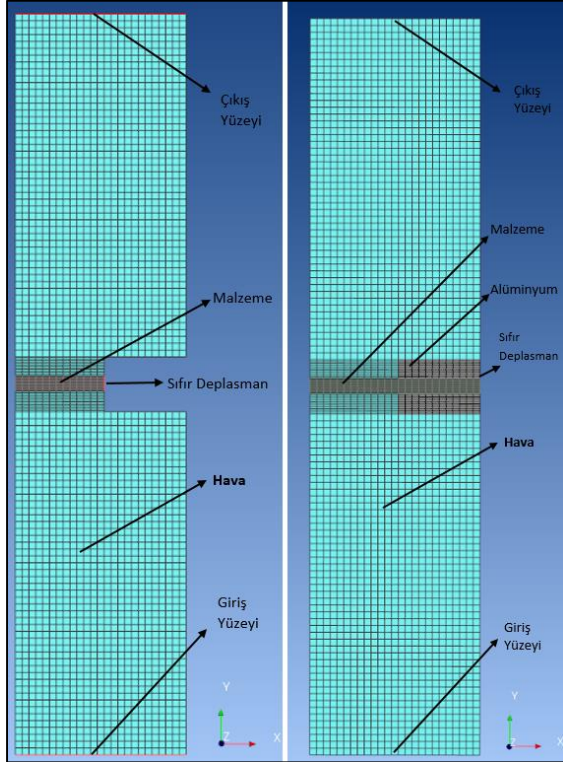
p_{çıkış}: Çıkış yüzeyindeki toplam ses basıncı [Pa]

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan vibro-akustik analizlerde, ses iletim kaybını hesaplamak üzere, malzemenin giriş yüzeyine 1 Pa’lık akustik basınç tahriki verilmiş, giriş ve çıkış yüzeylerindeki

ses güçleri elde edilmiştir. Boru – kanal akustiğine ait mod şekilleri kullanılarak, düzlem dalgı yaklaşımı altında ses iletim kaybı hesaplanmıştır.

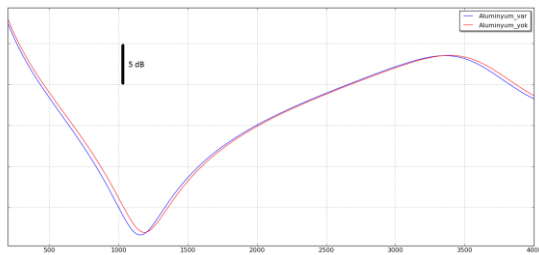
Çalışma kapsamında aksel simetrik bir model kullanılmış, ses iletim kaybı 20 Hz'den 4000 Hz'e 10 Hz'lik artımlarla hesaplanmıştır.

Şekil 5'te malzemeyi, malzeme tutucuya yerleştirmek için kullanılan alüminyum adaptör ve bu alüminyum adaptörün modelden çıkarılmış halde modelin ağı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5 Malzeme ve Alüminyum Adaptör ile Malzeme

Alüminyum adaptörün ses iletim kaybına etkisi Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 Alüminyum Adaptör Varken ve Yokken Hesaplanan Ses İletim Kaybı [dB] – Frekans [Hz] Grafiği

Bu çalışma kapsamında kullanılan adaptörün model üzerindeki etkisi araştırılmış, Ses iletim kaybı değerlerinde modellere dahil etmenin önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. (Şekil 6)

Akustik analizlerde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

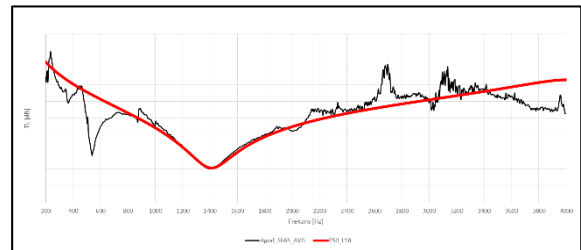
Tablo 1 Malzeme Özellikleri

MALZEME	Elastisite Modülü [Mpa]	Sönüm Oranı [%]
Alüminyum	70000	0
Compound 1	50*	18*
Compound 2	140*	17*
Sponge	3*	20*
MALZEME	Ses Hızı [m/s]	Yoğunluk [kg/m ³]
Hava	340	1.225
MALZEME	Yoğunluk [kg/m ³]	Poisson Oranı [-]
Alüminyum	2700	0.3
Compound 1	1100	0.4
Compound 2	1100	0.4
Sponge	600	0.4
MALZEME	Cp [J/kg.K]	Cv [J/kg.K]
Hava	1004	716

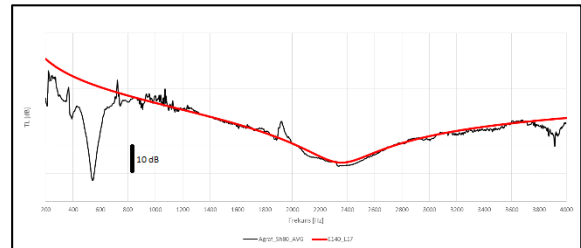
*Yapılan çalışma sonucunda, analiz sonucu hesaplanan ses iletim kaybı ile deneysel olarak hesaplanan ses iletim kaybı eğrilerinin karşılaştırılması ile modellemede kullanılacak amprik elastisite modülü ve amprik sönüm oranları, üç farklı visko - elastik malzeme için farklı malzeme parametreleri ile yapılan analiz sonuçları kullanılarak saptanmıştır.

4. TEST VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

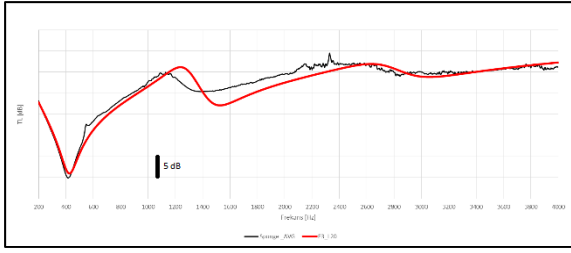
Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da deneysel ve analiz sonucu hesaplanan ses iletim kaybı sonuçları karşılaştırılmaktadır.



Şekil 7 Compound 1 Malzemesi Deneysel ve Nümerik Ses İletim Kaybı Sonuçları



Şekil 8 Compound 2 Malzemesi Deneysel ve Nümerik Ses İletim Kaybı Sonuçları

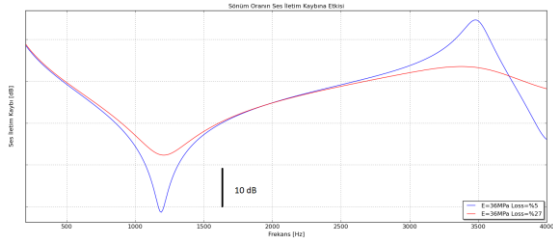


Şekil 9 Sponge Malzemesi Deneysel ve Nümerik Ses İletim Kaybı Sonuçları

5. MALZEME ÖZELLİKLERİNİN SES İLETİM KAYBINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde, malzemelerin mekanik özelliklerinin ses iletim kaybına etkileri dairesel kesitli basit plaka için sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir.

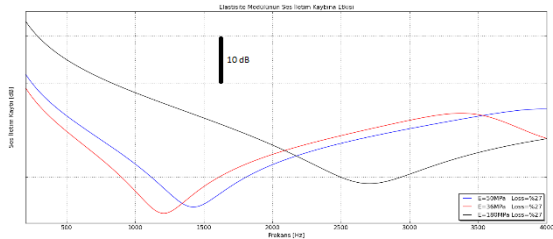
Şekil 10'da elastisite modülleri 36 MPa, yoğunlukları 1100 kg/m³, Poisson Oranları 0.4 olan, iki malzemenin sönüm oranları %5 ve %27 olacak şekilde ses iletim kayıpları gösterilmektedir.



Şekil 10 Sönüm Oranının Ses İletim Kaybına Etkisi

Malzemelerin sönüm oranı arttıkça, beklenildiği üzere, ses iletim kaybı eğrisinde oluşan rezonans ve antirezonsların keskinliği azalmaktadır.

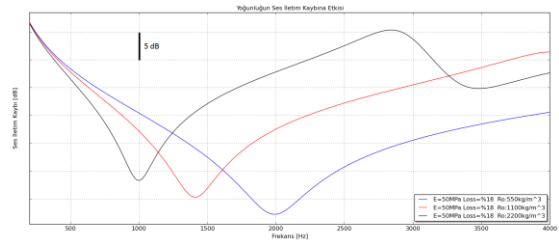
Şekil 11'de elastisite modülleri 36 MPa, 50 MPa ve 180 MPa, sönüm oranları %27, yoğunlukları 1100 kg/m³, Poisson Oranları 0.4 olan, üç malzemenin ses iletim kayıpları gösterilmektedir.



Şekil 11 Elastisite Modülünün Ses İletim Kaybına Etkisi

Artan elastisite modülü, beklenildiği üzere çakışma frekansını yüksek frekanslara doğru ötelemektedir.

Şekil 12'de elastisite modülleri 50 MPa, sönüm oranları %18, Poisson Oranları 0.4, yoğunlukları 550, 1100 ve 2200 kg/m³ olan üç malzemenin ses iletim kayıpları gösterilmektedir.



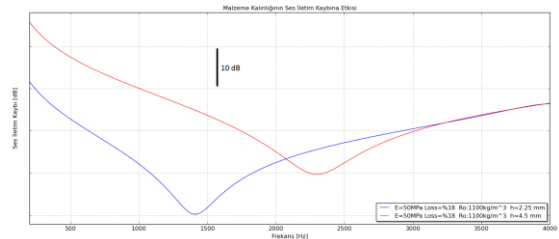
Şekil 12 Yoğunluğun Ses İletim Kaybına Etkisi

Beklenildiği üzere artan yoğunluk, çakışma frekansını düşük frekanslara doğru ötelemektedir.

6. GEOMETRİK ÖZELLİKLERİN SES İLETİM KAYBINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

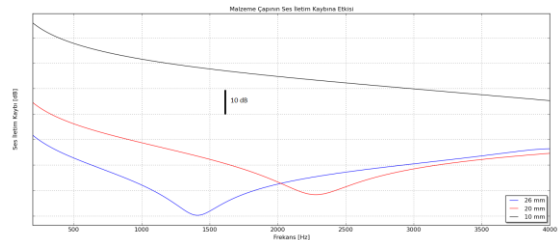
Bu bölümde numune kalınlığının ve çapının ses iletim kaybına etkisi incelenmiştir.

Şekil 13'te 2.25 mm ve 4.5 mm kalınlığında, 26 mm çapında olan iki malzemenin ses iletim kayıplarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 13 Malzeme Kalınlığının Ses İletim Kaybına Etkisi

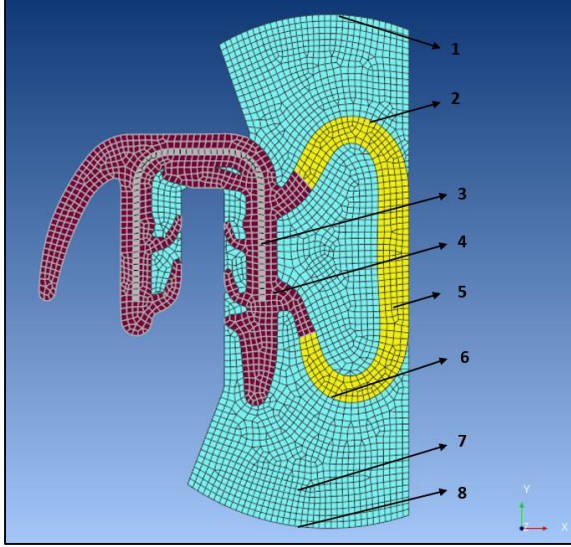
Şekil 14'te 2.25 mm kalınlığında, 26 mm, 20 mm ve 10 mm çapında olan üç malzemenin ses iletim kayıplarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 14 Malzeme Çapının Ses İletim Kaybına Etkisi

7. BASİT BİR SIZDIRMAZLIK PROFİLİ GEOMETRİSİNİN RASGELE SES ALANI ALTINDAKİ SES İLETİM KAYBININ İNCELENMESİ

Şekil 15'te ses iletim kaybı analizi yapılan basit sızdırmazlık profili geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 15 Basit Sızdırmazlık Profili Geometrisi

Aşağıdaki listede, Şekil 15'de belirtilen bölgelerin tanımlamaları sıralanmıştır.

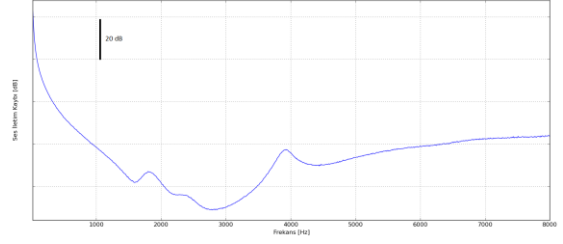
1. Sonsuz Çıkış Yüzeyi:
2. Profil Çıkış Yüzeyi
3. Alüminyum Malzeme
4. Compound 1 Malzeme
5. Sponge Malzeme
6. Profil Giriş Yüzeyi
7. Hava
8. Sonsuz Giriş Yüzeyi

Sızdırmazlık profilinin sıkışmış geometrisi ile yapılan vibro akustik analizde, geometrinin, kapı ile temas ettiği yüzeylere sıfır yer değiştirme sınır koşulu uygulanmıştır.

8 numaralı sonsuz giriş yüzeyinden rasgele ses alanı sınır koşullarını yansıtacak şekilde akustik tahrik verilerek, 200 Hz ile 4000 Hz arasında 10 Hz'lik artımlar ile direkt frekans cevap analizi yapılmıştır.

6 ve 2 ile gösterilen fitilin giriş ve çıkış yüzeylerinde ses güçleri hesaplatılarak ses iletim kaybına geçilmiştir.

Şekil 16'da, Şekil 15 ile gösterilen sızdırmazlık profili geometrisinin ses iletim kaybı sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 16 Basit Sızdırmazlık Profilinin Ses İletim Kaybı Eğrisi

8. SONUÇLAR

Malzemelerin ses iletim kaybı ölçüm sonuçları ve analizi kullanılarak, ters parametre tahmini yapılmıştır. Tespit edilen elastisite modülleri ve sönüm oranları bu malzemelerin kullanıldığı araç sızdırmazlık profilinin akustik analizlerine bir girdi oluşturmuştur.

Aynı malzeme özelliklerini içeren sızdırmazlık profillerinin, araç üzerindeki akustik davranışı malzeme özellikleri belirlendikten sonra yapılan sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir.

Yapılan parametrik ses iletim kaybı analizi çalışmalarında ise malzeme özelliklerinin ses iletim kaybına etkisi incelenerek, araç sızdırmazlık profillerinin akustik tasarımına bir girdi oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Andro B., Chaigne S., Diallo A. and Mermet M. (2008)., "Prediction of sound transmission through automotive door seal systems," in *Euronoise , Paris*
- [2] Actran User's Manual
- [3] Garner R.S., (2008) "Method For Determination of Complex Moduli Associated with Viscoelastic Material", *Masters Theses, University of Tennessee, Knoxville*
- [4] Park, J., Siegmund, T., and Mongeau, L., "Sound Transmission Through Elastomeric Sealing Systems," *SAE Technical Paper 2001-01-1411, 2001, doi:10.4271/2001-01-1411.*