

AKUSTİK SÖNÜM (TRİM) MALZEMELERİN MODELLENMESİ

Fatih Furkan Barut¹

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe gerçekleştirilen akustik çalışmalar, genellikle yönetmeliklere uymak ve taşıtın konforunu en yüksek düzeye ulaştırmak amacıyla yapılmaktadır.

Yönetmeliklere uymadan üretilen taşıtlar otomotiv pazarına sunulamaz. Örneğin bir taşıtın trafikte dış ortama yayabileceği en yüksek gürültü, insan sağlığını korumak adına yönetmeliklerle sınırlandırılmıştır (Geçiş Gürültüsü yönetmeliği - Pass-by noise regulation). Taşıtın trafik esnasında yayabileceği bu gürültü, ISO 362 standardına göre ölçülmektedir.

Yalnız içten yanmalı motoru bulunan bir taşıt incelendiğinde, gürültü kaynakları dört ana başlığa ayrılabilir:

- Güç Aktarma Sistemleri ve Motor Gürültüleri,
- Emme ve Egzoz Gürültüleri,
- Soğutma Fanı ve Turboşarj Gürültüleri,
- Araç İçi Gürültü.

Araç içi gürültü başlığını ise aşağıdaki ayrıntıyla verebiliriz:

- Gözenekli Malzemelerin Etkileri (Trim/PEM),
- Yol-Lastik Etkileşimi Sonucu Oluşan Gürültü,
- Rüzgâr Gürültüsü,
- Havalandırma Kanallarından Gelen Gürültüler,
- Çok Katmanlı Yapıların Akustik Performansı (Yangı duvarı - dashboard, Kapı gibi)
- Ses Sistemleri.

Gürültü kaynakları arasında yer alan etmenlerin çoğu taşıt konforunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, taşıt konforunu artırmak için ürün üreticileri (OEM) yukarıda belirtilmiş unsurlar üzerinde çalışmalar gerçekleştirirler. Bu unsurlar, simülasyon ortamında farklı yazılımlar kullanılarak ele alınıp değerlendirilebilir. Bu yazıda, bu programlardan biri olan "Actran"² kullanılarak yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

¹ Fatih Furkan BARUT, Yapısal Analiz Mühendisi - fbarut@bias.com.tr

² Gelişmiş akustik simülasyon programı

2. ARAÇ İÇİ GÜRÜLTÜ

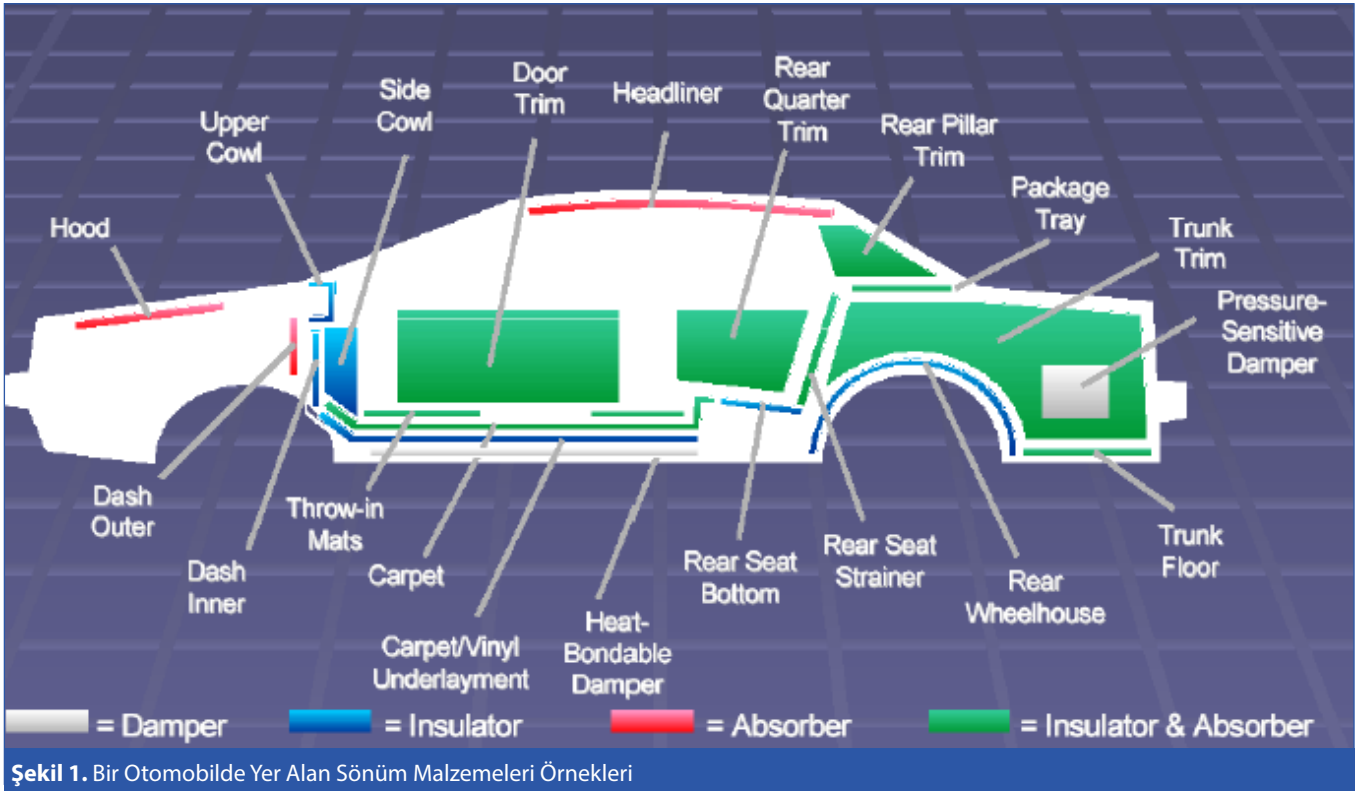
Araç içi gürültü oluşumu iki farklı etmen ile açıklanabilir. Bunlar hava doğuşlu gürültü (air-borne noise) ve yapısal kaynaklı gürültü (structure-borne noise) olarak adlandırılmaktadır. Bu iki etmeden hangisinin diğerine göre daha baskın olacağı çalışılan frekans aralığına göre değişiklik göstermektedir. Örnek vermek gerekirse 250-700 Hz aralığında yapısal kaynaklı gürültüler daha baskın olurken 1.000 Hz ve üzerinde oluşan gürültüler daha çok hava doğuşlu olabilmektedir.

Bir otomobil üzerinde yer alan gürültü kaynaklarının hepsi kabin içerisindeki konforu etkilemektedir. Motor gürültüsü ve rüzgâr gürültüsü gibi etmenlerin kabin içerisine yansımaları hava doğuşlu olarak nitelendirilebilir. Ancak yoldan gelen etkiler sonucunda oluşan titreşimler aracılığıyla yayılan gürültü, yapısal kaynaklı gürültü sınıfına girmektedir.

Otomotiv sektöründe, kabin içerisindeki konforu en yükseğe ulaştırmak için sıklıkla gözenekli (Trim/PEM) malzemeler kullanılmaktadır. Üç farklı işlev için, farklı malzemeler kullanılır [1]. Bunlar:

- Ses yutumu (absorption);
 - Genellikle gözenekli malzemelerdir.
 - Ses yutum özelliği, malzemenin kalınlığı arttıkça artar.
 - Ses yalıtım işlevleri kötüdür.
- Ses yalıtımı (acoustic insulation);
 - Gözenekli olmayan malzemelerdir.
 - Ses yalıtım özellikleri, malzeme ağırlığı arttıkça artar.
 - Ses yutum işlevleri kötüdür.
- Sönümlenme (damping);
 - Viskoelastik malzemelerdir. Karmaşık elastisite modülü ile tanımlanır.
 - Örneğin bitüm, kauçuk, metal+kauçuk gibi malzemelerdir.
 - Doğrudan akustik etkileri yoktur ancak, titreşim sönümlenme yoluyla gürültüyü azaltır.

Malzeme üreticileri her bir işleve odaklanan ürünlerin ya-



Şekil 1. Bir Otomobilde Yer Alan Sönüm Malzemeleri Örnekleri

nında her üç işlevi de yerine getirebilen melez çözümler için de çalışmaktadır.

Bir otomobil özelinde bakıldığında, tavan kaplaması, yan-ğın duvarı (dashboard), motor kaputu üzerinde yer alan malzemeler, koltuklar, kapılarda yer alan sönüm malzeme-leri ve benzerlerinde ses sönümlendirici malzemeler kullanılır. Şekil 1'de bir otomobilde yer alan sönüm mal-zemeleri örnekleri görülmektedir.

Bu bölümde bahsedilen malzemelere test yapılmak istendiğinde empedans tüpleri, çınlama odası ve yansı-masız odalar kullanılmaktadır. Bu testler yoluyla, parça-ların ya da sönüm malzemelerinin ses yutum katsayısı veya ses iletim kaybı gibi değerlere ulaşılabilir. Böylece gürültüyü kontrol etmek için kullanılacak malzemelerin geliştirilmesi, bu malzemelerin akustik başarımlarının doğrulanması, rakip tasarımlar ile kıyaslama, standartla-ra uygunluk, en iyi akustik başarıma sahip malzemenin seçimi ve bilgisayar destekli akustik analizlere girdi sağ-lanabilir.

Burada belirtilen malzemeler Actran içerisinde ister üç boyutlu (3B), ister bir boyutlu (1B) olacak şekilde model-lenebilir. Bu tip malzemelerin modellenmesinde sıklıkla kullanılan malzeme özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Akışkan Özellikleri;
 - Sıcaklık,
 - Hacimsel (Bulk) Modül,
 - Yoğunluk,
 - Isı İletim Katsayısı,
 - Dinamik Viskozite,
 - Özgül Isılar.
- Mekanik Özellikler;
 - Elastisite Modülü,
 - Yoğunluk,
 - Poisson Oranı.
- Akışkan-İskelet Etkileşim Özellikleri;
 - Gözeneklilik,
 - Akış Direnci,
 - Kıvrımlılık.

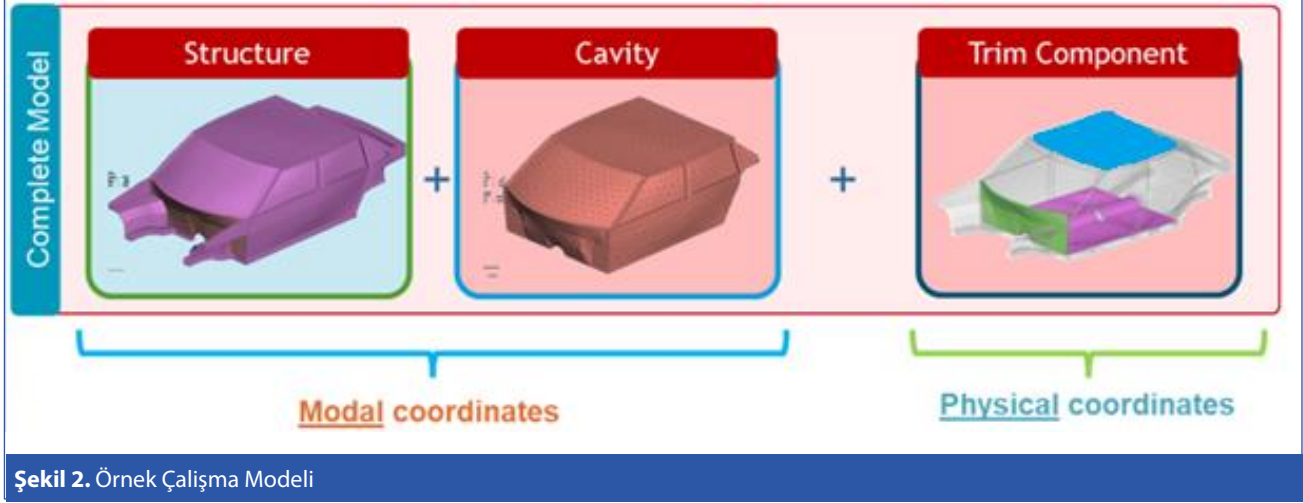
- Mikromodel Özellikleri;
 - Viskoz Karakteristik Uzunluk,
 - Isıl Karakteristik Uzunluk,
 - Statik Isıl Geçirgenlik,
 - Statik Viskoz Kıvrımlılık,
 - Statik Termal Kıvrımlılık.

Malzeme özellikleri test aygıtlarıyla ya da BIAS TestSens (empedans tüpü ve test yazılımı) kullanılarak elde edilip Actran'a girdi sağlanabilir. Arka planda JCAL (Johnson-Champoux-Allard-Lafarge) modeli kullanılmaktadır.

Malzeme tanımlamaları gerçekleştirildikten sonra, Actran içerisinde yer alan modelleme tekniklerinden biri seçilmelidir [2]. Bunlar:

- Porous UP;
 - Kesin çözümdür, varsayım yapılmaz.
 - Basınç ve deplasman cinsinden serbestlik-leri vardır.
- Lumped Porous;
 - Malzemeye ait mekanik özellikler bulun-muyorsa kullanılabilir.
 - Malzeme sertliği sonsuz yumuşaklıktaymış gibi bir varsayım yapılır.
- Rigid Porous;
 - Kütle göz ardı edilir.
 - Malzemeye ait mekanik özellikler bulun-muyorsa kullanılabilir.
 - Yapı sonsuz katılıktaymış gibi kabul edilir.
- Delany-Bazley & Miki Porous;
 - Arka planda gözleme dayalı, deneysel bir çözüm yapılır.
 - Akış direncini tanımlamak yeterli olur.
 - Yalnızca basınç cinsinden serbestlik derece-si bulunur.

Malzeme modellerinin seçimi, açıklamalardan da görüle-ceği üzere, elde bulunan malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu modellerden en güvenilir Porous UP'dir. Çünkü ne-redeyse tanımlanan bütün malzeme özellikleri kullanılmaktadır. Ancak çözüm süresi diğer modellere göre biraz daha uzundur.



Şekil 2. Örnek Çalışma Modeli

3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu bölümde, basitleştirilmiş bir araç modeli üzerinden taban sacına ve tavan sacına bağlanan gözenekli (trim) malzemelerinin etkisi incelenecektir. Örnek modelde yapısal bir iskelet, çok katmanlı bir gözenekli (trim) malzeme ve taşıtın kavitesi yer almaktadır. Şekil 2'de örnek çalışma modeli görülmektedir.

Actran içerisinde taşıtın yapısal parçalarını modellemek için birden fazla yöntem kullanılabilir. Bunlardan bir tanesi doğrudan yapısal parçaların ağ yapısını oluşturup kalınlık, malzeme bilgisi gibi özellik tanımlarını Actran içerisinde gerçekleştirmektir. İkinci yöntem ise MSC Nastran1 gibi bir yazılım içerisinde ilgili bileşenler modellenip modal analiz koşutlandıktan sonra bu modal analizin sonuç dosyası Actran'da ilgili yapı üzerine atanabilir. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılacaktır. Dolayısıyla akustik analiz modeli kurulmadan önce yapısal parçalara MSC Nastran içerisinde modal analiz gerçekleştirilmiş ve OP2 formatında çıktı dosyası elde edilmiştir. Burada modal analizler koşutlandırılırken en yüksek frekans, akustik analizlerde çalışılmak istenen en yüksek frekansın 1,5 katı olacak şekilde belirlenebilir. Bunun nedeni modal kesmenin (modal truncation) önüne geçmektir.

Burada bahsedilen modal kesmenin bir benzeri, araç kavitesi için de geçerlidir. Örneğin akustik analizlerde kullanılacak kavitenin modlarının, en yüksek çalışma frekansının 2 katı olması önerilmektedir.

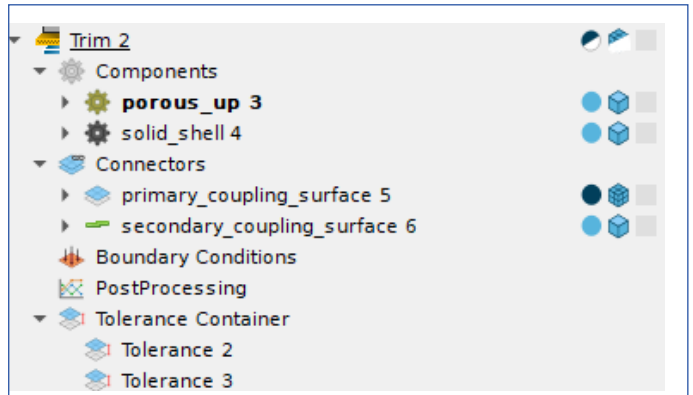
Yapısal parçaların ve taşıt kavitesinin modları elde edil-

dikten sonra, tüm araca ait sonlu eleman ağı Actran'a aktarılmış ve çalışma frekansı 10-200 Hz aralığında, dar bantta olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğer istenirse "octave" bandlarında da çalışmalar gerçekleştirilebilir.

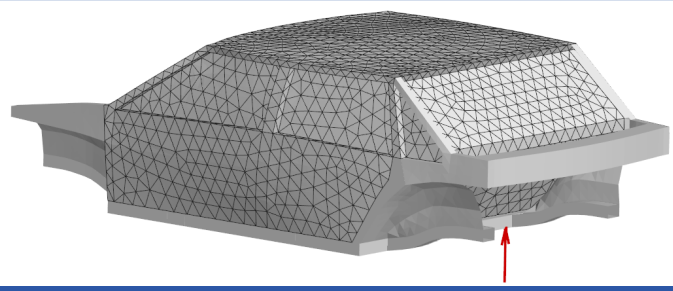
Burada kavite modları Actran içerisinde kolayca elde edilebileceği gibi MSC Nastran benzeri programlarda da elde edilebilir.

Actran içerisinde yapısal parçalara ve kaviteye ait modal analiz sonuç dosyalarını tanımlamak için sırasıyla "Modal Elastik" ve "Modal Akustik" araçları kullanılmaktadır. Bu araçların içerisinde yapıya ait mod sayısı, modal katılımlar ve sönüm gibi değişkenler tanımlanabilir [3].

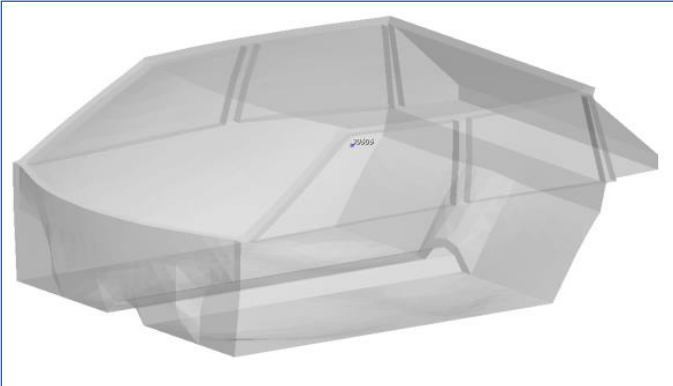
Yapılara ait modlar tanımlandıktan sonra, araç kavitesinin, gözenekli (trim) malzemelerin ve yapısal parçaların birbirlerine bağlanması gerekmektedir. Eğer bu parçaların bağlantıları burada gerçekleştirilmezse, parçalar



Şekil 3. Trim Modülü



Şekil 4. Kuvvet Uygulama Noktası ve Yönü



Şekil 5. Mikrofon Konum

arasındaki bilgi aktarımı sağlanamaz. Bu bağlantı Actran içerisinde yer alan "Interface" (Arayüz) ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada da yapısal parçalar ile araç kavitesi arasındaki bağlantı, tek bir "Interface" ile sağlanmıştır.

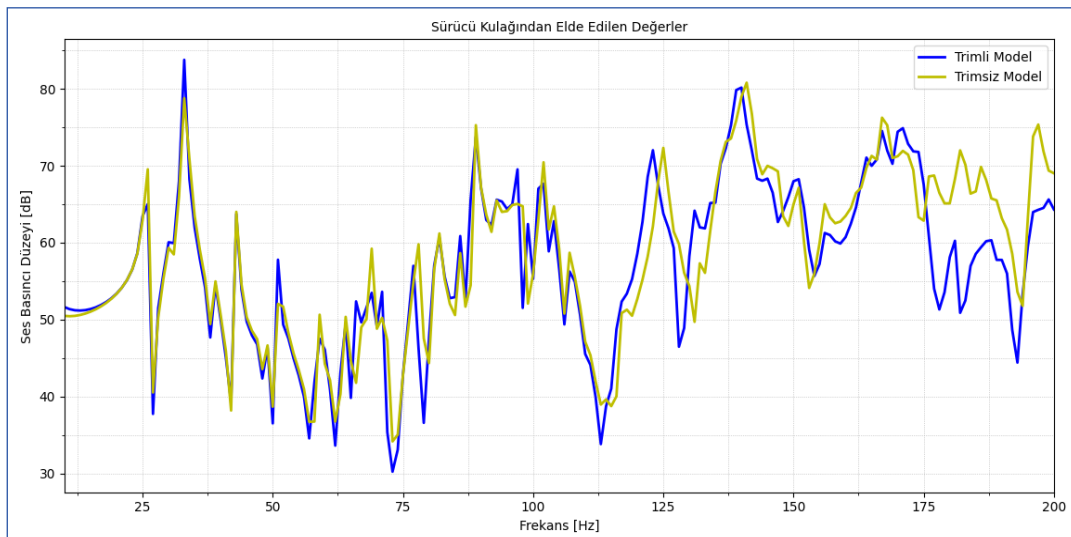
Gözenekli malzemeler (Trim/PEM) Actran içerisinde modellenirken birden fazla yöntem kullanılabilir:

- Doğrudan 3B modelleme ve "Interface" ile bağlantıların gerçekleştirilmesi.
- Doğrudan "Interface" aracını kullanarak 1B modelleme. Bu çalışmadaki tavan kaplaması 1B olarak modellenmiştir.
- "Interface" komutu aracılığı ile "Trim Modülünün" kullanımı. Bu modül kullanıldığında, ekstra lisans çekilir fakat bağlantı çeşitliliği açısından daha ayrıntılı sınır/uç tanımlamalar gerçekleştirilebilir. Yani gözenekli (trim) malzemelerinin yapısal parçalara ya da araç kavitesine nasıl bağlandığı detaylandırılabilir (Structure glued, structure sliding, structure air gap, cavity open, cavity closed gibi seçenekler kullanılabilir). Gözenekli malzemeler 3B olarak modellenmiş olur. Bu çalışmada taban sacı modellenirken kullanılan seçenektir.

Şekil 3'de trim modülü örneği görülmektedir.

Gözenekli malzemeler modellendikten sonra Şekil 4'de görülen düğüm noktası üzerinden z-ekseninde 1 N değerinde kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvet sonucunda Actran yapısal parçalar üzerinde oluşabilecek titreşimleri ve bu titreşimlerin akustik etkisini arka planda hesaplayacaktır.

Kuvvet tanımlaması gerçekleştirildikten sonra sonuçların değerlendirilmesi için kabin içerisinde sürücü kulağının olduğu bölgeye bir adet mikrofon yerleştirilmiştir. Daha sonra analiz koşturularak sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 5'de sürücü kulağının olduğu bölgeye yerleştirilen mikrofon görülmektedir.

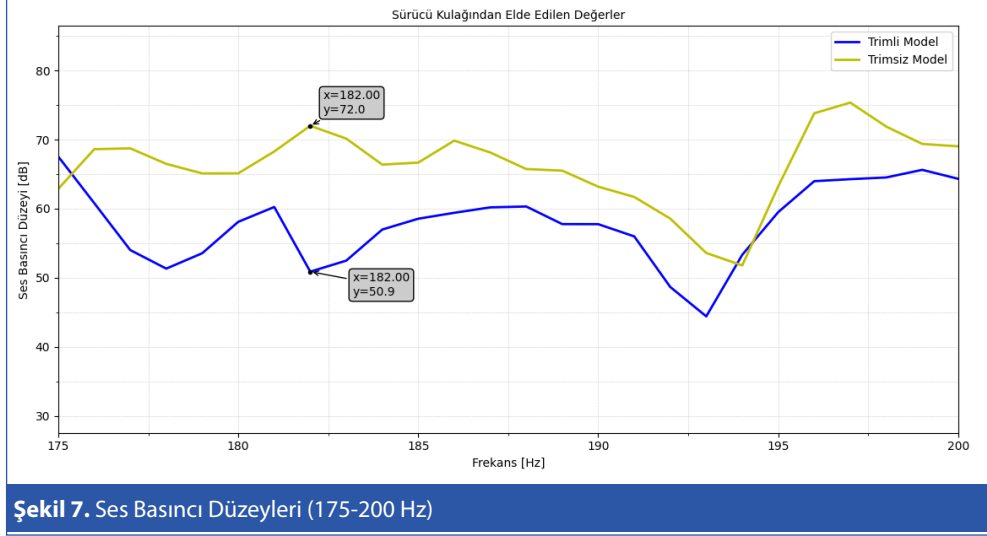


Şekil 6. Ses Basıncı Düzeyleri (10-200 Hz)

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gözenekli malzemelerin (trim/PEM) bulunduğu model ve bu malzemelerin bulunmadığı model olmak üzere ger-

gelerine çıkıldıkça etkisini göstermektedir çünkü bu tip malzemelerin sönüm katsayıları genellikle yüksek frekans bölgesinde en yükseğe ulaşmaktadır. Ancak burada incelenen durumda, Şekil 8 incelendiğinde taban sacına

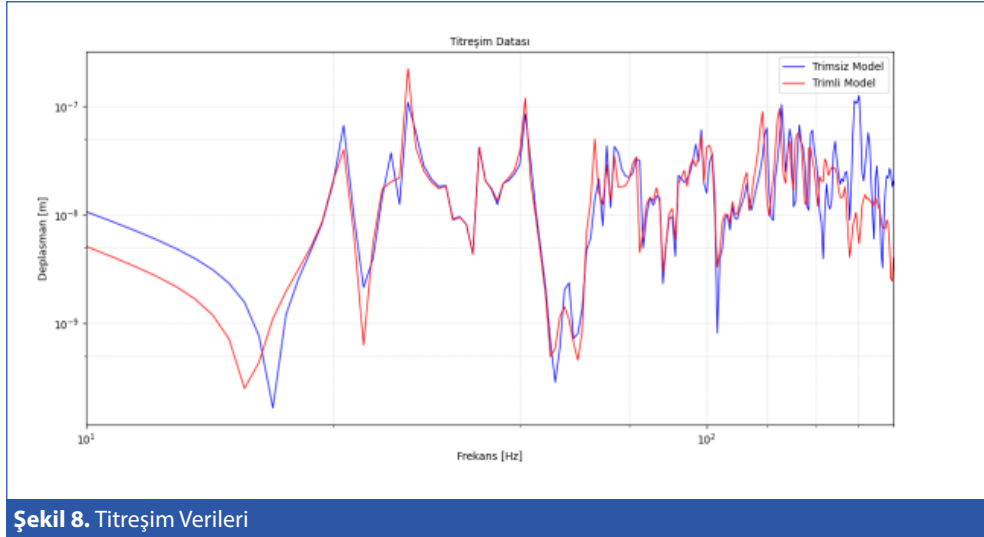


Şekil 7. Ses Basıncı Düzeyleri (175-200 Hz)

çekleştirilen analizlerde, sürücü kulağının olduğu bölgeye yerleştirilen mikrofondan okunan değerler Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde 175 Hz'e kadar olan bölgede her

yerleştirilen sönüm malzemelerinin yapı üzerinde oluşan titreşimleri sönümlendiği görülmüştür. Bu nedenle 175 Hz'den sonra ses basıncı düzeyleri düşmektedir.



Şekil 8. Titreşim Verileri

iki model üzerinden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak 175 Hz'den 200 Hz'e kadar olan bölgede ses basıncı düzeylerinin oldukça düştüğü görülmektedir. Şekil 4'de taban sacı üzerinde bulunan bir düğüm noktası üzerinden elde edilen titreşim değerleri görülmektedir.

Normal şartlarda sönüm malzemeleri yüksek frekans böl-

KAYNAKÇA

1. Migeot, J.L., Acoustic Material, <https://dokumen.tips/documents/chapter-14-acoustic-materials-jean-louis-aderaemavibrations14-dissipative-.html?page=1>, Son Erişim Tarihi: 27 Aralık 2023.
2. Actran 2022.1 User's Guide Vol. 1
3. Actran 2022.1 User's Guide Vol. 2