

TURBOCHARGER REZONATÖRÜ TASARIMINDA AKUSTİK ANALİZ VE SES İLETİM KAYBI ÖLÇÜMLERİNİN KULLANIMI

Özgür Palaz^{*}, Burak Erdal^{*}, Florian Sam Güngör^{**}

^{*}Eksen Mühendislik, İstanbul

^{**}Teklas, İstanbul

ÖZET

Akustik yalıtım, konforun önde olduğu konut, otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerin yanında, akustik gizliliğin de önem arz edebildiği savunma sanayiinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Yalıtım işlemleri ses yutum malzemeleri ile yapılabildiği gibi, rezonatörler, susturucular gibi akustik sistemler ile de yapılabilmektedir. Bu çalışmada bir turbocharger rezonatörünün ses iletim kaybı özellikleri akustik simülasyon ile belirlenmiş, ses iletim kaybı tüpü ile ölçümleri yapılmıştır; bu iki verinin karşılaştırılması ile imalattan kaynaklanan problemler düzeltilmeye başlanmıştır.

Anahtar kelimeler: akustik test, akustik simülasyon, ses iletim kaybı tüpü, rezonatör, susturucu

ON THE USE OF ACOUSTIC NUMERIC ANALYSIS AND SOUND TRANSMISSION LOSS MEASUREMENTS IN DESIGNING OF A TURBOCHARGER RESONATOR DESIGN

ABSTRACT

Acoustic isolation is been used widely in residential applications, automotive and appliance industries, where comfort is the main object. It can also be utilized in defence industry applications due to the acoustic 'secrecy'. Acoustics isolation can be obtained by either absorptive materials or muffler-resonator systems. In this research, sound transmission characteristics of a turbocharger resonator is determined by acoustic simulation and compared to the results of sound transmission loss tube measurements. This comparison yields an improvement in the production processes and the performance of the resonator has been increased

Keywords: acoustic testing, acoustic simulation, transmission loss tube, resonator, muffler

1. GİRİŞ

Endüstriyel ve çevresel gürültü, dolayısı ile akustik yalıtım, günümüzde oldukça önemli bir hale gelmiştir. Akustik konforun önde olduğu konut, otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerin yanında, akustik gizliliğin de önem arz edebildiği savunma sanayiinde bu tip akustik yalıtım malzemeleri ve akustik sönüm sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Malzemelerin akustik karakterizasyon ölçümlerini yapan sistemler, empedans tüpleri (düzlem-dalga tüpleri, Kundt tüpü vb.) olarak adlandırılırlar. Yalıtım malzemelerine ve sistemlerine ait akustik özellikler, "ses iletim kaybı" ve "ses yutum katsayısı"dır.

Araçlarda kullanılan turbocharger'lardan kaynaklı

gürültü, araçlardaki diğer komponentlerden gelen gürültünün yalıtılması ve artan kütleli debi miktarları nedeniyle gitgide artan bir şekilde sorun teşkil etmektedir [1]. Bu doğrultuda kullanılan rezonatör ve susturucu gibi akustik sistemlerin ses iletim kaybı parametreleri önem kazanmaktadır; büyüyen endüstriyel talepler doğrultusunda daha hafif, daha düşük maliyetli ve daha efektif yalıtım sağlayacak tasarımlar kendilerini dayatmaktadır. Bu amaçla tasarlanan plastik turbocharger rezonatörleri için;

- Sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik olarak hesaplanan ses iletim kaybı
- Ses iletim kaybı tüpü ile ölçümleri
- Bu iki sonucun karşılaştırılması doğrultusunda tasarım ve imalattaki problemlerin giderilmesi ve

tasarımın iyileştirilmesi

süreçleri gerçekleştirilmiştir. Bu rezonatörlerde geometri dolayısı ile karşılaşılan imalat zorluklarının yanısıra, parçanın plastik olmasının yarattığı hassasiyet problemleri de söz konusudur. Şekil 1’de üzerine çalışılan rezonatör görülmektedir.



Şekil 1. Projede üzerine çalışılan plastik turbocharger rezonatörü

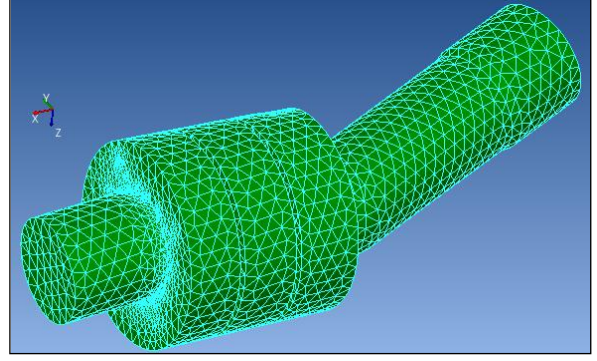
2. AKUSTİK ANALİZLER

Turbocharger rezonatörünün akustik karakteristiğini belirleyen parametre daha önce de bahsedildiği gibi ses iletim kaybıdır. Bu parametrenin belirlenmesi için rezonatör hacmi için sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturulmuştur. Rezonatör içerisinde yer alan perforasyonlarda daha küçük; geniş bölgelerde ise daha büyük olmak üzere tamamında ikinci dereceden (quadratic) *tetragonal* eleman kullanılmıştır. Rezonatör giriş tarafından *duct mode* düzlem dalga akustik yayılımı oluşturulmuştur. Nümerik modelde çıkış kanalı ise tam yansımaz bir biçimde tanımlanmıştır. Tanımı gereği de ilgili parçanın yarattığı akustik güç düşümü olan ses iletim kaybı değerleri, hesaplanan ses basıncı değerleri kullanılarak elde edilmiştir.

$$TL = 10 \log \left[\frac{A_n}{A_m} \right] \quad [dB] \quad (1)$$

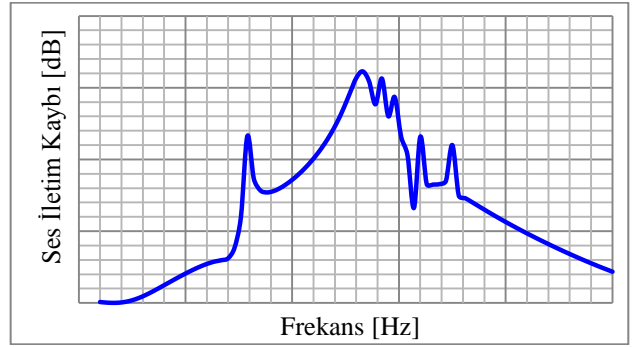
A_n rezonatörün girişindeki iletilen dalga ve A_m iletilen dalga olmak üzere ses iletim kaybı (TL), (1) ifadesinde verildiği gibidir.

Şekil 2’de hesaplamalarda kullanılan rezonatörün sonlu elemanlar ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Çalışılan turbocharger rezonatörü

Nümerik analizin sonucu elde edilen ses iletim kaybı Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Nümerik akustik analizler sonucunda elde edilen rezonatör TL değerleri

3. SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

3.1. Ölçüm sisteminin doğruluğu

Ses iletim kaybı tüpü ile yapılan ölçümlerle, rezonatörün normal doğrultudaki ses iletim kaybı değerleri elde edilmiştir. Bu tip rezonatörler ve susturucuların ses iletim kaybı değerlerini ölçmek için standart bir ürün bulunmaması nedeniyle özel tasarım bir sistem geliştirilmiş ve bu doğrultuda sistemde şu özelliklere dikkat edilmiştir:

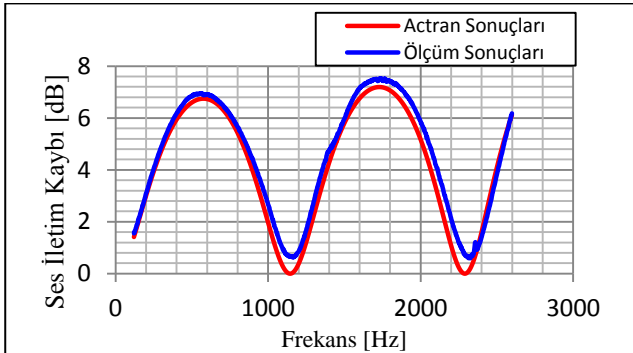
- İstenen ölçüm frekans aralığını sağlaması ve bu aralıkta yapılan doğrulama işlemleri ile sistemin çalışırılığının kontrol edilmesi
- Sistemin, söz konusu olan turbocharger rezonatörü gibi akustik sistemlerin montajına uygun olması
- Rezonatör parçaları sisteme monte ederken kullanılan adaptörlerin istenmeyen TL değerleri yaratmayacak şekilde tasarlanması



Şekil 4. Turbocharger rezonatörü için tasarlanan ses iletim kaybı ölçüm tüpü

Ses iletim kaybı ölçümlerinin yapılması için tasarlanan sistem Şekil 4'te görülmektedir. Sistem ASTM-E 2611 transfer matris metodu ile ses iletim kaybı ölçüm standartına uygun olarak hazırlanmıştır. Düzlem dalganın oluşturulduğu çap ile susturucu girişi arasında özel adaptörler tasarlanmış ve ses iletim kaybına neden olmayacak şekilde bir geometri verilmiştir. Bu geometri ayrıca nümerik olarak hesaplanarak ses düşüm mertebelerine bakılmıştır.

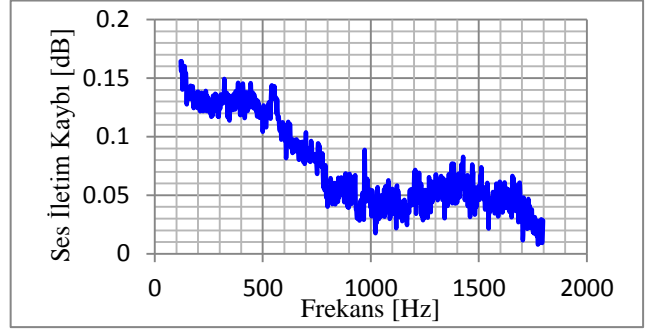
Sistemin doğruluk testleri iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir; bunlar sırasıyla basit bir genişleme odasının analiz sonuçları ile deneysel verilerin karşılaştırılması ve boş halde iken tüpten elde edilen TL değerlerinin sıfıra yakınlığıdır. Şekil 5'te ölçüm sistemine bağlanan basit bir genişleme odası içeren susturucunun ölçüm sonuçları ile nümerik analizlerden hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda ilgilenilen frekans aralığında en fazla 0.5 dB mertebelerinde hata oluştuğu görülmüştür. Bu ölçümler için yeterli hassasiyeti sağlamaktadır.



Şekil 5. Basit bir genişleme odasının FEM analizi sonuçları ve tüp ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6'da sistemde herhangi bir rezonatör kullanmadan yapılan ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu ölçüm sonucunda beklenen grafik ilgilenilen frekans aralığı

boyunca sıfıra yakın ses iletim kaybıdır.



Şekil 6. Boş tüp sonuçlarından elde edilen TL değerleri

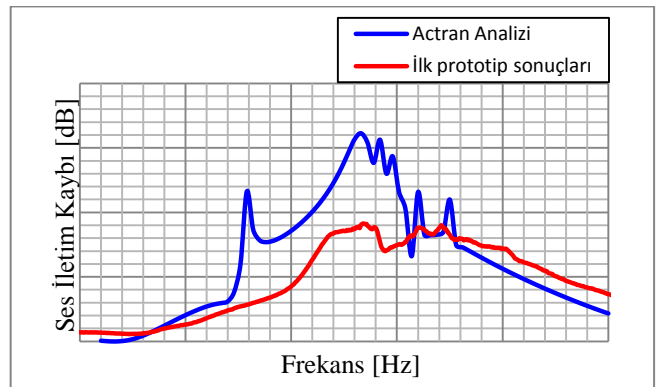
3.2. Rezonatörlerin ses iletim kaybı ölçüm sonuçları

Sistemin istenen hassasiyet sınırları içerisinde doğru bir biçimde çalıştığının kontrolünden sonra ilgili prototiplerin ölçümlerine geçilmiştir. İmalat sürecinden çıkan ilk prototipin içerisinde kaynak yönteminden oluşan çeşitli geometri yanlışlıkları olduğu bilinmektedir.



Şekil 7. Rezonatör parçasının sisteme monte edilmiş hali

İlk prototipin ölçüm sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir:



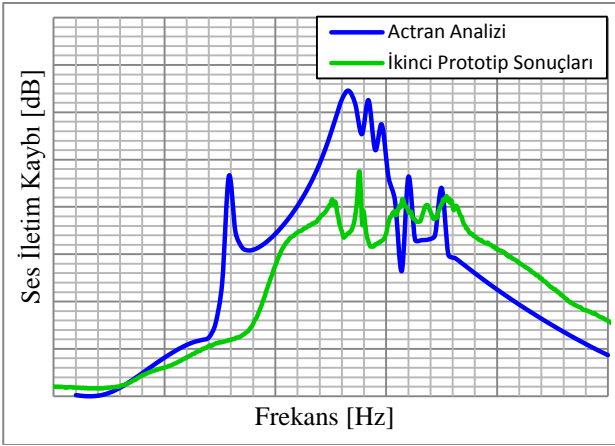
Şekil 8. İlk prototip rezonatör ile FEM analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Rezonatör prototipinin imalattan kaynaklı bazı yapısal problemleri olduğu önceden bilinmektedir. Sonuçlardan

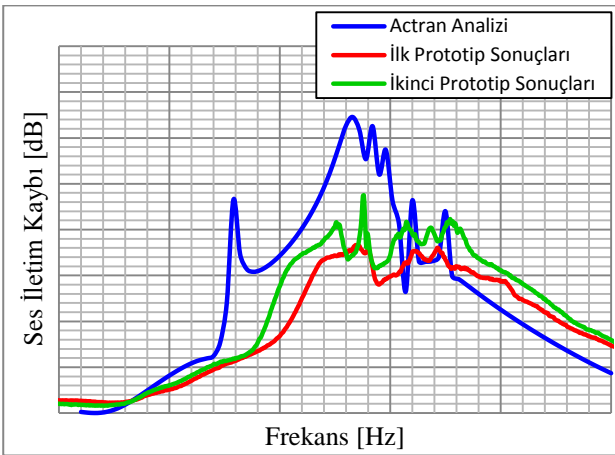
görüldüğü üzere bu tolerans hataları akustik tasarımın etkinliğini azaltmaktadır.

Bu prototipteki imalat problemlerinin bir miktar düzeltilmesinden sonra ölçümler tekrarlanmıştır. İkinci prototipte de aynı problemler bir miktar görülmesine rağmen bozukluklar bir miktar azaltılmış, bu iyileşme ölçüm sonuçları ile de doğrulanmıştır.

Bu prototipin imalat problemlerinin bir miktar düzeltilmesinden sonra ölçümler tekrarlanmıştır. İkinci üretilen prototipte de aynı problemler bir miktar görülmesine rağmen bozukluklar bir miktar azaltılmış, bu iyileşme ölçüm sonuçları ile de doğrulanmıştır.



Şekil 11. İkinci prototip rezonatör ile FEM sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 12. Her iki prototipin de Actran sonuçları ile karşılaştırılması

Sonuçlar, imalat süreçlerinin iyileştirilmesi ile birlikte analiz sonuçlarına yaklaşmaktadır.

4. SONUÇLAR

Akustik sonlu elemanlar analizinde, akışın ve sıcaklık dağılımı etkisinin ihmal edilmesi, rezonatör yüzeyinin rijit varsayılması gibi bazı basitleştirmeler yapılmıştır; ses iletim kaybı tüpü ile yapılan ölçümlerde de aynı ortam koşulları geçerlidir. Bu kabuller doğrultusunda yapılan analizler ve ölçümler sonucunda turbocharger rezonatörünün akustik performansı anlaşılabilmiş ve etkinliği artırılmıştır. Ölçüm ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması, imalat süreçlerinde yapılan değişikliklerin akustik anlamda faydalarını görmek açısından iyi bir veri sunmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda nümerik ve ölçüm sonuçlarında görülen farklılığın azaltılması için, nümerik modelde yeterince detaylı modellenemeyen perforasyon yapısının daha detaylı modellenmesi ve ölçümlerde imalat hataları en az seviyede olan rezonatörlerin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmaların ilerleyen zamanlardaki kapsamı, akışın ve sıcaklık dağılımı etkisinin analiz ve ölçümlere dahil edilmesi ile genişletilecektir

KAYNAKLAR

1. Rämmäl, H., Åbom, M., "Acoustics of Turbochargers", SAE Tech. Paper Series, 2007-01-2205, Noise and Vibration Conference and Exhibition, Illinois,
2. ASTM International, E2611-09, "Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustic Materials Based on the Transfer Matrix Method"
3. MSC Actran, User Manual

