

TURBOCHARGER REZONATÖRÜ TASARIMINDA SES İLETİM KAYBININ NÜMERİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Özgür Palaz, Eksen Mühendislik
opalaz@ex-en.com.tr

Burak Erdal, Eksen Mühendislik
berdal@ex-en.com.tr

Florian Sam Güngör, Teklas Kauçuk A.Ş.
sgungor@teklas.com.tr

- Turbocharger gürültüsünü azaltmak için kullanılan rezonatörlerin akustik performansları nasıl belirlenir?
- Nümerik analiz ve deneysel ölçüm sonuçları kullanılarak turbocharger rezonatörlerinin akustik performansı nasıl arttırılabilir?

TURBOCHARGER REZONATÖRLER

- Turbocharger rezonatörler, akış hattında ses iletim kaybına neden olarak akustik yalıtım sağlayan akustik elemanlardır.

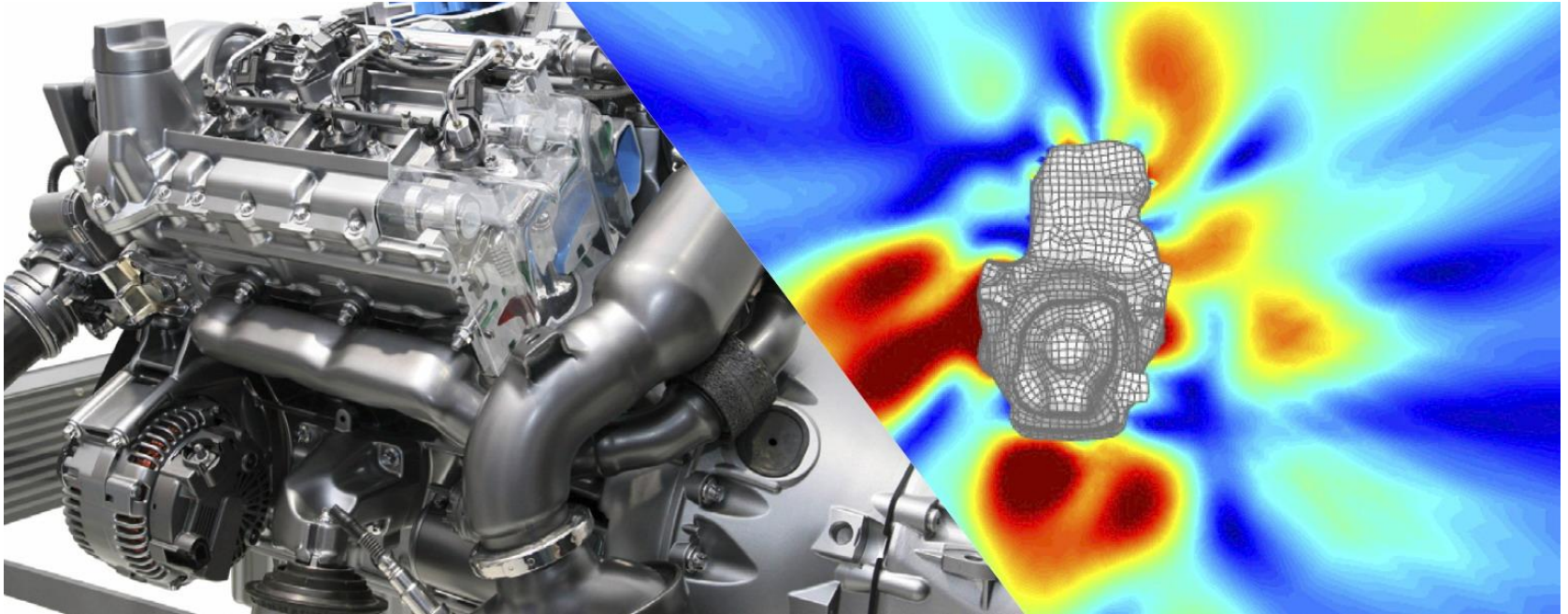


TURBOCHARGER REZONATÖRLER

- Turbocharger'lardan gürültüsü, araçlardaki diğer gürültü bileşenlerinin gün geçtikçe daha iyi yalıtılması ve artan kütleli debi miktarları nedeniyle gitgide artan bir şekilde sorun teşkil etmektedir.
 - Rezonatör ve susturucu gibi sistemlerin ses iletim kaybı özellikleri
- Artan endüstriyel talepler doğrultusunda daha hafif, daha düşük maliyetli ve daha efektif yalıtım sağlayacak tasarımlar kendilerini dayatmaktadır.
 - Plastik turbocharger rezonatörleri

- Turbocharger gürültüsü engellemek amaçlı kullanılan rezonatörlerin akustik performansları nasıl belirlenir?
 - ✚ Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Akustik Simülasyon
 - ✚ Ses iletim kaybı tüpü ölçümleri
- Nümerik analiz ve deneysel ölçüm sonuçları kullanılarak turbocharger rezonatörlerinin akustik performansı nasıl arttırılabilir?
 - ✚ İmalat hatalarının giderilmesi

✚ Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Akustik Simülasyon



+ Ses iletim tüpü kaybı ölçümleri



- Prototip imalatı yapılan rezonatörün ses iletim kaybı performansı hesaplamalardaki beklentiler ile örtüşmemektedir.
- Plastik imalattan kaynaklanan bazı hatalar nedeniyle ‘akustik odalar’ yeterli performans göstermemektedir.
- Piyasadaki mevcut ses iletim kaybı ölçüm tüpleri (i.e. empedans tüpleri), bu tip akustik sistemlerin performansları ölçmek için uygun değildir.

- Araştırma öncesi tanımlanan bu problemler doğrultusunda;
 - Sonlu elemanlar yöntemi ile rezonatörün akustik analizi
 - Ses iletim kaybı ölçüm tüpleri ile rezonatörün deneysel incelenmesi
 - Analizler ve ölçüm sonuçları doğrultusunda imalat hatalarının düzeltilmesi, rezonatör tasarımının iyileştirilmesi

süreçleri gerçekleştirilmiştir.

- Turbocharger rezonatörünün akustik karakteristiğini belirleyen parametre, daha önceden de bahsedildiği gibi ses iletim kaybıdır.

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

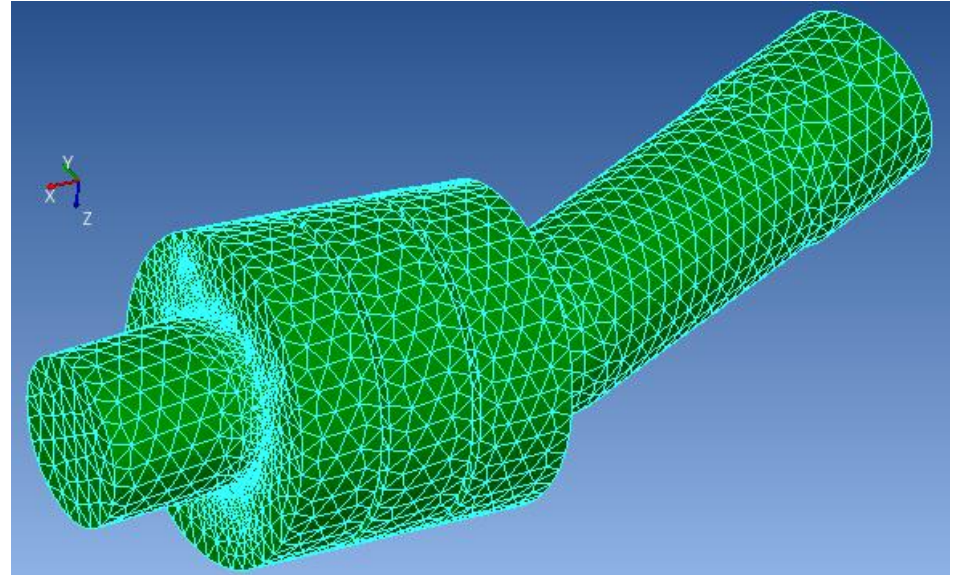
- A_n : Rezonatörün girişindeki iletilen dalganın gücü
- A_m : Rezonatörden iletilen dalganın gücü

AKUSTİK ANALİZLER

- Rezonatörün akustik sonlu elemanlar analizleri MSC Actran yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Turbocharger rezonatörü prototipi



Turbocharger rezonatörünün sonlu elemanlar modeli

- Yapılan sonlu elemanlar analizinde, rezonatör içerisindeki perfore alanlar için küçük, geniş alanlarda ise daha büyük olmak üzere;

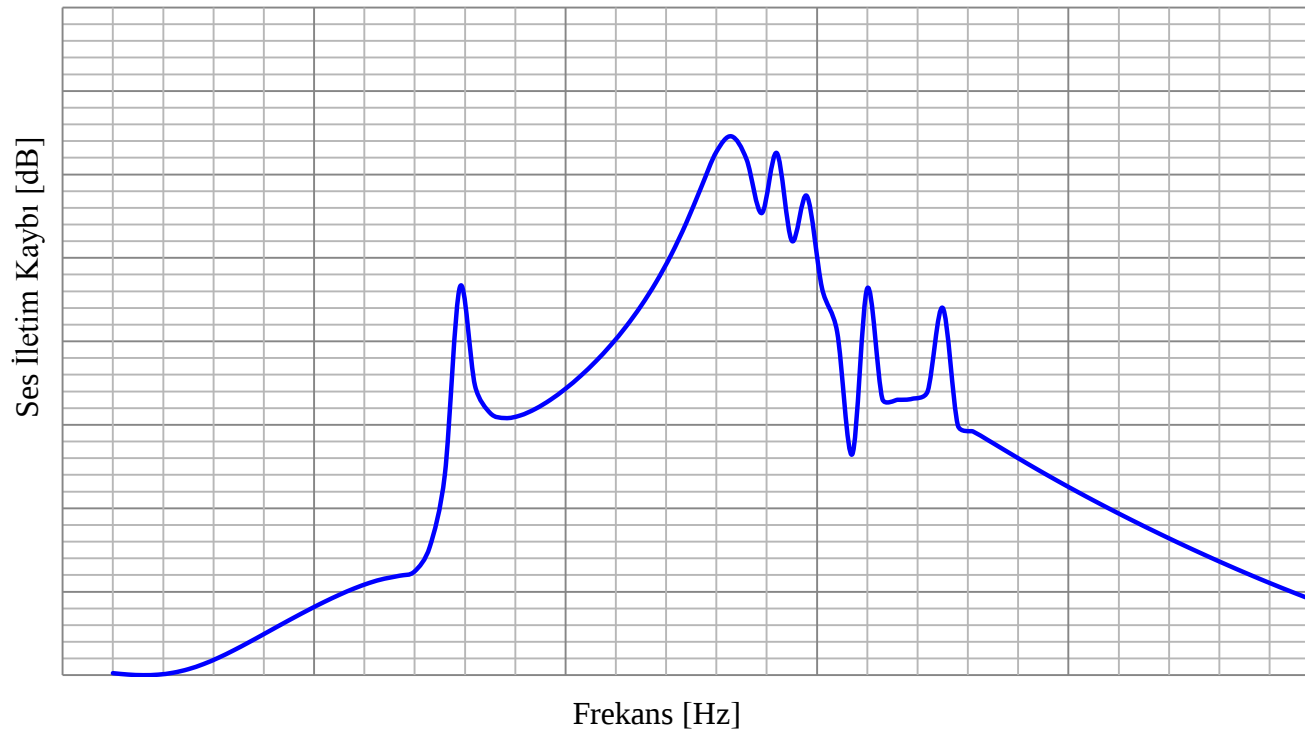
- ✓ *İkinci dereceden (Quadratic)*

- ✓ *Tetragonal*

elemanlar kullanılmıştır.

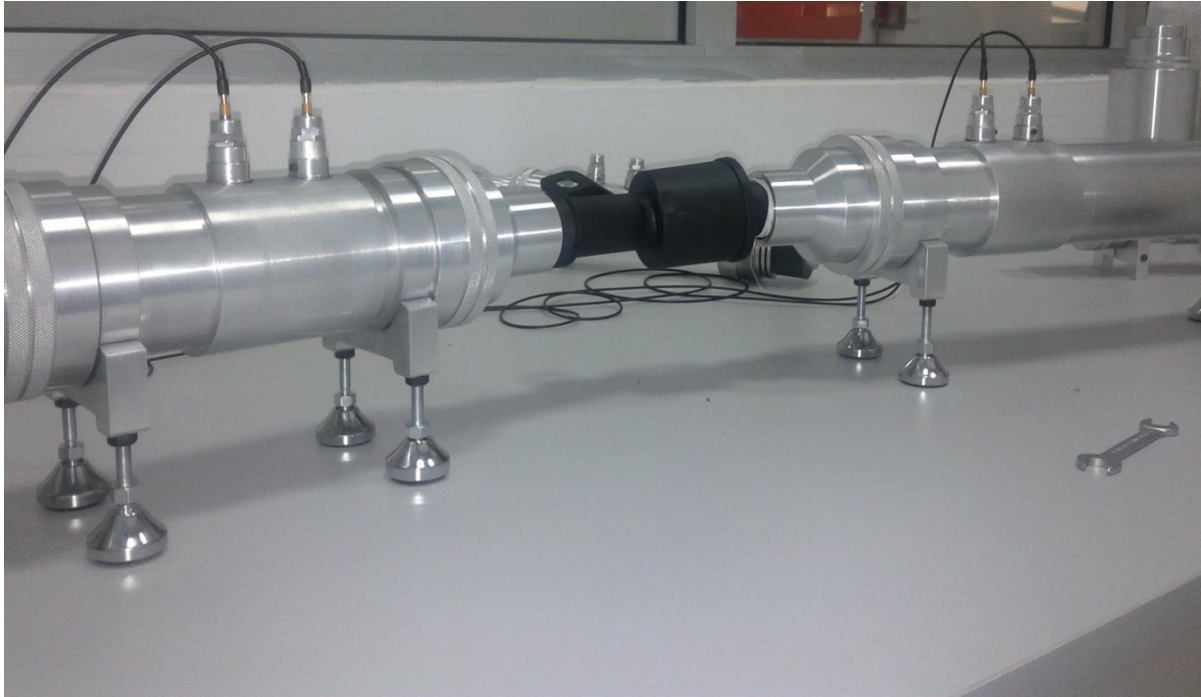
- Rezonatörün giriş bölümünden *duct mode*, düzlem dalga akustik yayılım girişi verilmiş; çıkış kanalına ise tam yansız (anekoik) sınır koşulu tanımlanmıştır.

- Actran ile hesaplanan rezonatör ses iletim kaybı değerleri



SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

- Turbocharger rezonatörlerinin ses iletim kaybı değerlerinin belirlenmesi için özel bir ses iletim kaybı tüpü tasarlanmıştır.



SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

- Piyasadaki mevcut ürünlerin bu tip bir sistemin ses iletim kaybını ölçmeye uygun olmaması nedeniyle ölçüm düzeneği tasarlanmıştır. Bu doğrultuda sistemin tasarımında dikkat edilen özellikler:
 - ✓ *İstenen ölçüm frekans aralığını sağlaması*
 - ✓ *Sistemin rezonatör gibi yapıların ölçümüne ve montajına uygun olması*
 - ✓ *Rezonatörlerin montajında kullanılan adaptörlerin istenmeyen TL değerleri yaratmayacak şekilde tasarlanması*
 - ✓ *Sistemin doğru ölçüm yaptığının kanıtlanması*

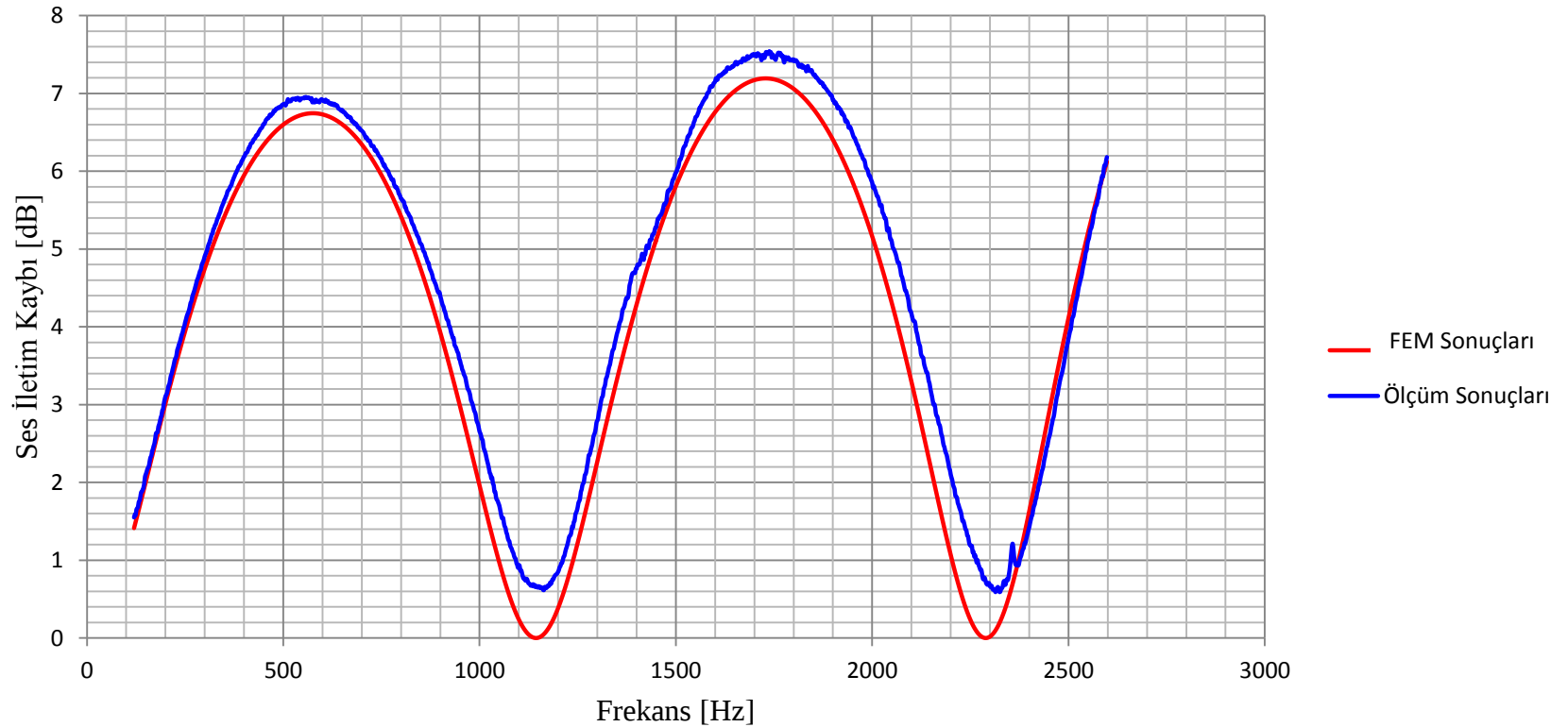
şeklindedir

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

- Ses iletim kaybı tüpünün doğruluk testleri;
 - Bir genişleme odasının sonlu elemanlar analizi sonuçları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması
 - Düz boruda görülmesi gereken “0” ses iletim kaybı değerinin kontrol edilmesi

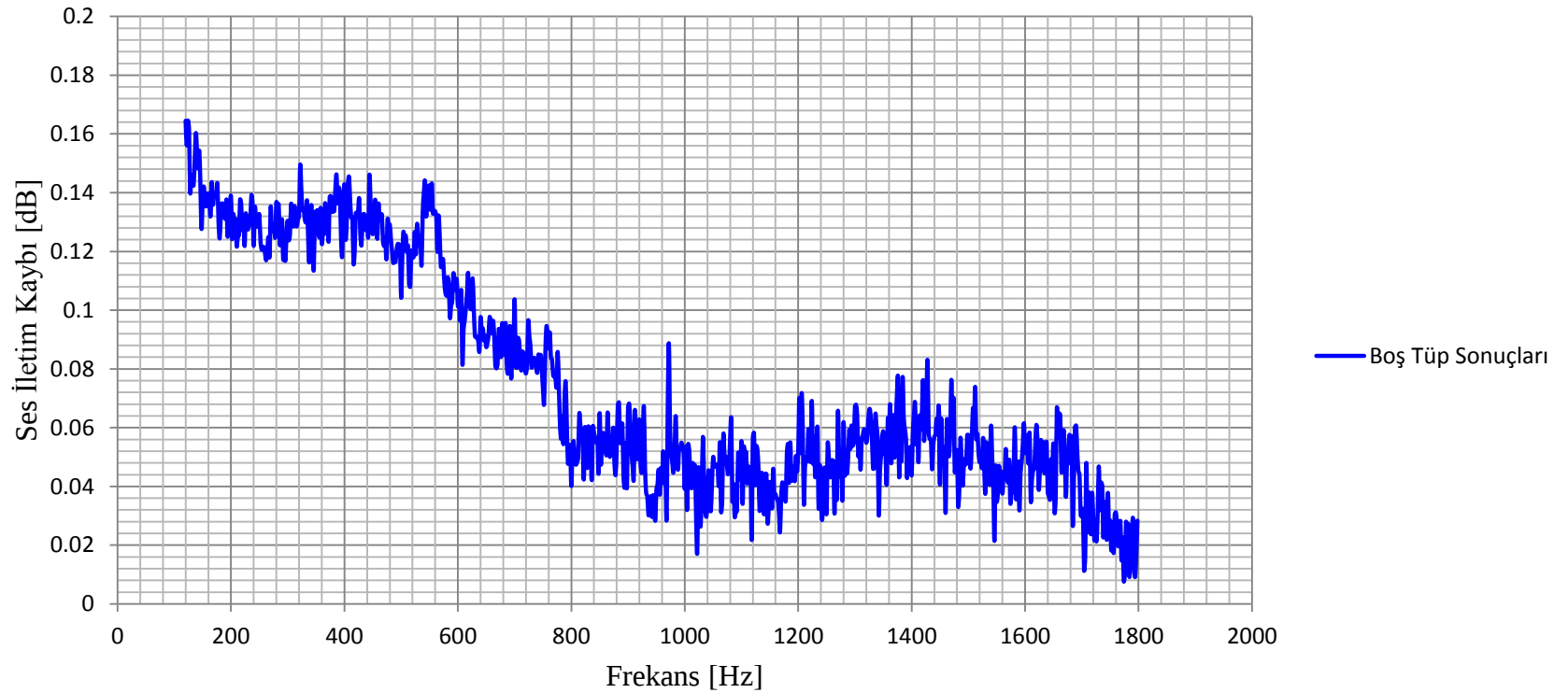
ile gerçekleştirilmiştir.

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ



Bilinen bir genişleme odasının sonlu elemanlar analizi sonuçları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ



Boş tüp halinde ölçülen ses iletim kaybı değerleri

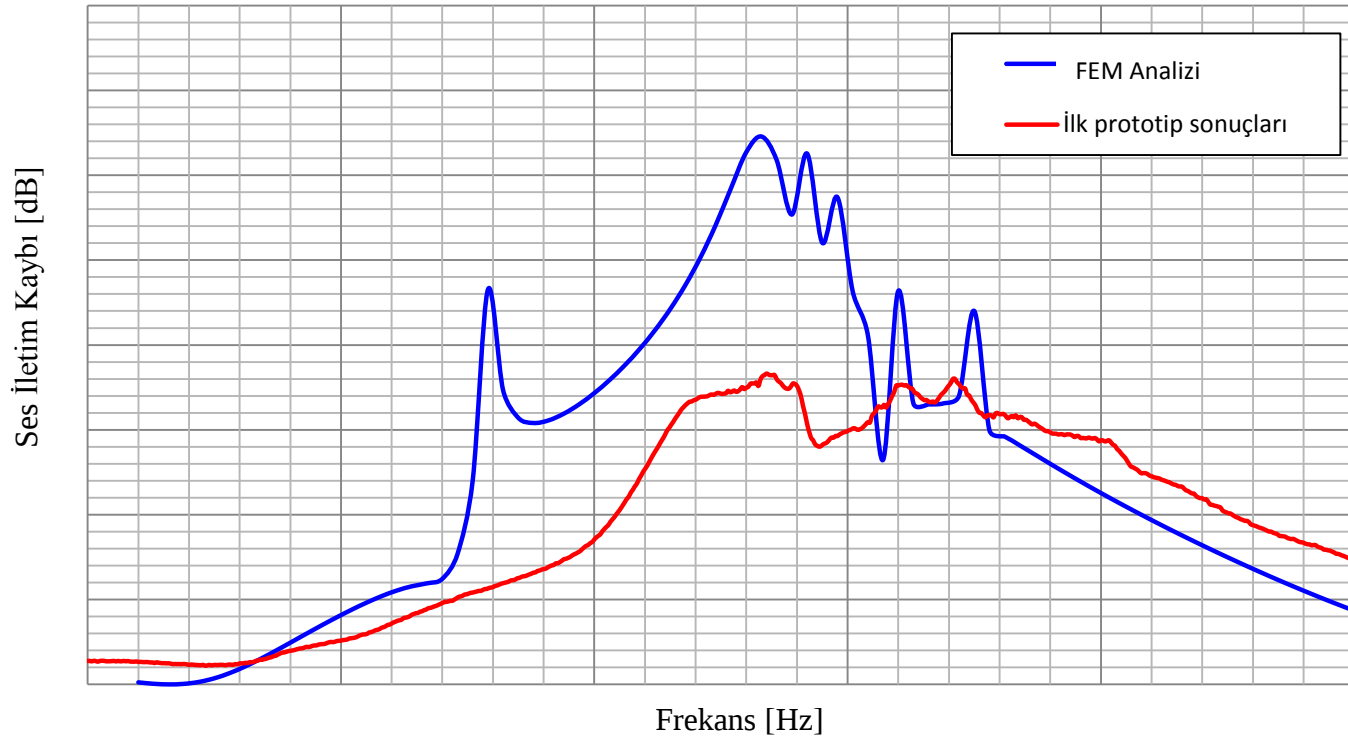
SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

- Sistemin istenilen hassasiyet değerleri içerisinde (<0.1 dB) doğru ölçüm yaptığı belirlendikten sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Rezonatörün sisteme monte edilmiş hali

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

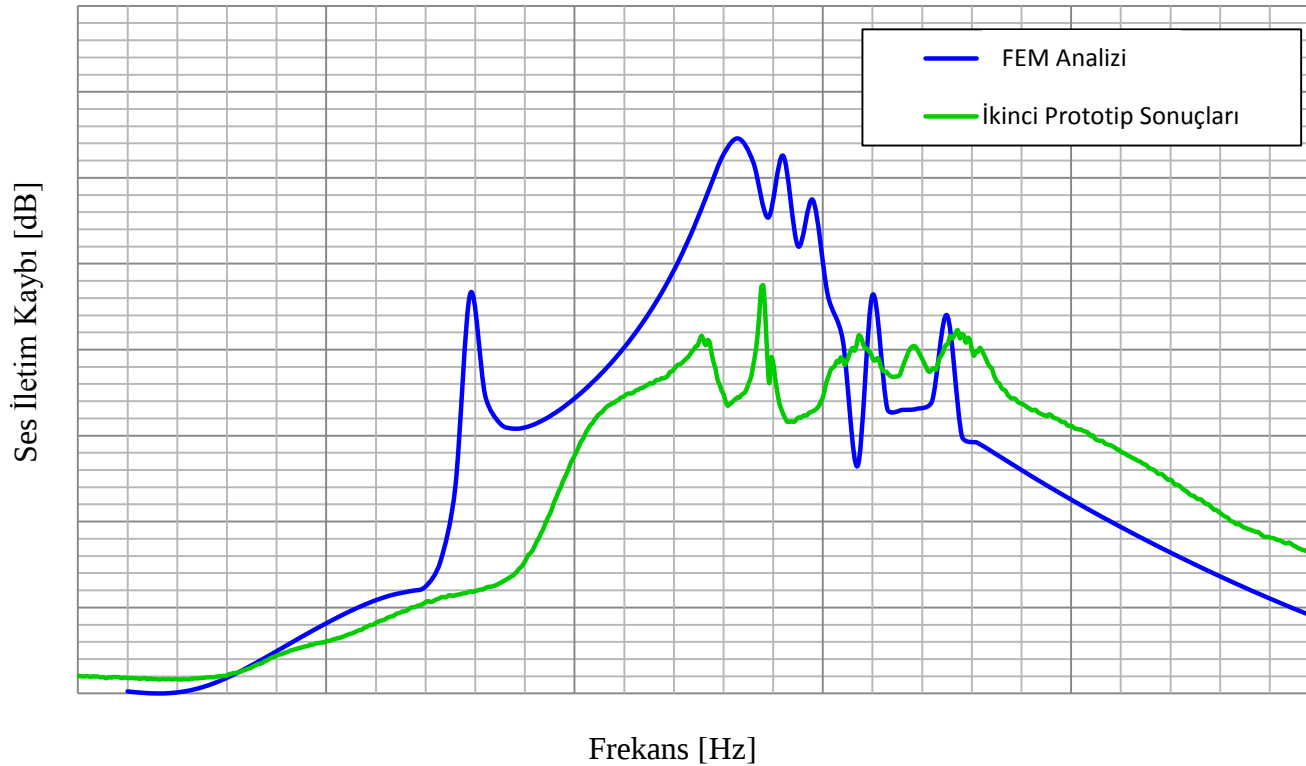


İlk prototopin ölçüm sonuçlarının sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılması

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

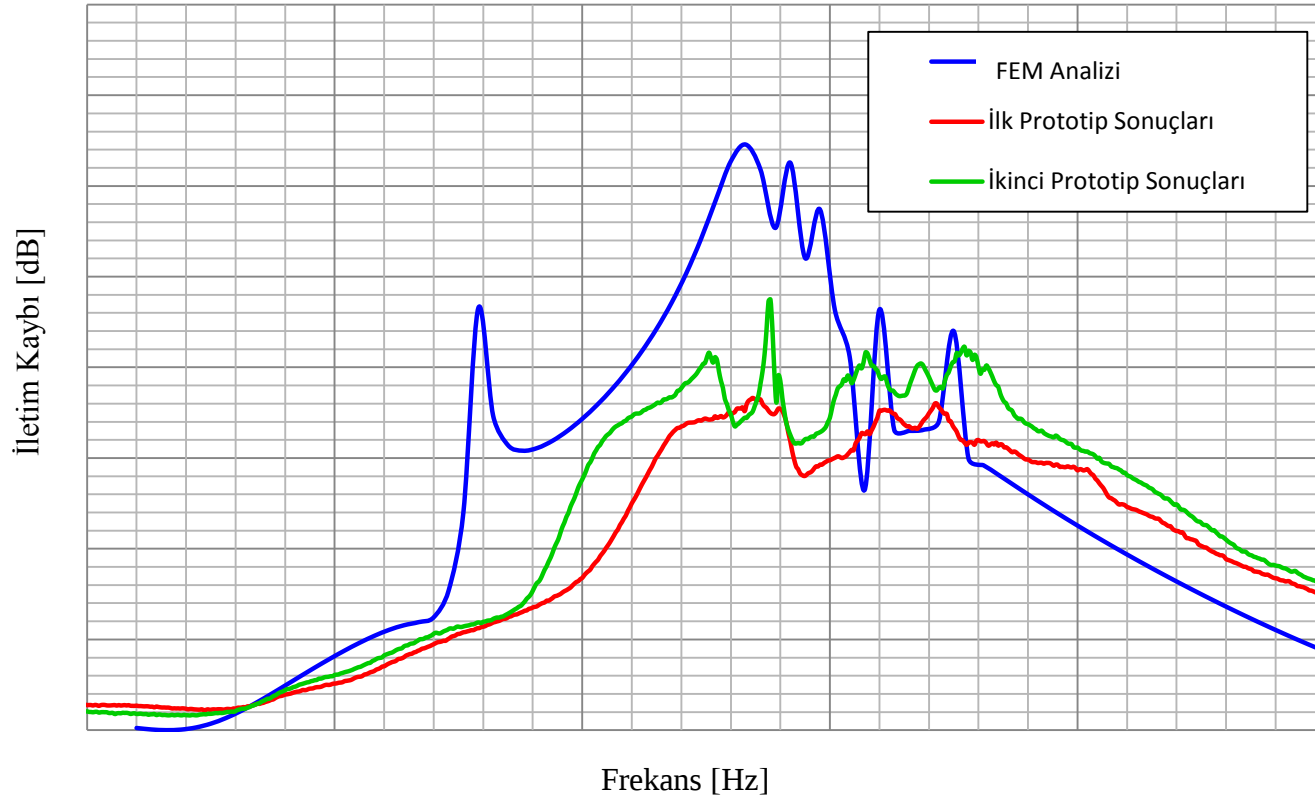
- İlk üretilen prototipin, imalattan kaynaklanan bazı yapısal hatalar taşıdığı bilinmektedir. Bu hatalar, oda hacimlerinin tasarlanan boyutlarda olmaması, rezonatör üzerindeki deliklerin istenilen hassasiyette imal edilememesidir.
- Bu doğrultuda imalat süreçlerinde iyileştirmeler ve değiştirilmeler yapılarak ölçümler tekrarlanmıştır.

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ



İkinci prototopin ölçüm sonuçlarının sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılması

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ



Her iki prototop ölçüm sonuçlarının sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırılması

SES İLETİM KAYBI TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

- İlk prototip ile imalat kalitesi geliştirilmiş olan ikinci prototipin ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların üretimde yapılan geliştirmeyi doğruladığı görülmektedir.
- Sonuçlar değerlendirildiğinde analiz sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında hala bir miktar farklılık olduğu görülmektedir.
- Bu sonuçlar doğrultusunda imalattan kaynaklı hataların hala sonuçlar üzerinde bir miktar etkisi olduğu görülmektedir.

- Belli hesaplamalar doğrultusunda geometrisi ve iç yapıları belirlenen rezonatörler, hem nümerik analizler hem de deneysel ölçümler ile karakterize edilebilmiştir.
- Bu araştırma ile imalat yöntemleri rezonatörün akustik etkinliğini arttıracak şekilde geliştirilmiştir.
- Bu incelemeler ile tasarlanan ve imal edilen akustik sistemlerin performans karakterlerinden bir veri tabanı oluşturmak mümkün olmuştur.

- Hem analiz yönteminde, hem de deneysel ölçümlerde akışın akustik karakteristiğe olan etkisi incelenmemiştir. Bu etkilerin ihmal edilemeyecek kadar büyük olduğu bilinmektedir.
- Bu doğrultuda, gelecekte yapılacak çalışmalarda, hem sonlu elemanlar incelemelerinde hem de deneysel ölçümlerde akışın ve sıcaklığın etkisi dahil edilecektir.

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