



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **TAŞIT MOTORLARI İÇİN REZONATÖR TİP SUSTURUCU TASARIMI**

**AHMET ÇAĞLAYAN  
HALUK EROL  
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**





# TAŞIT MOTORLARI İÇİN REZONATÖR TİP SUSTURUCU TASARIMI

Ahmet ÇAĞLAYAN  
Haluk EROL

## ÖZET

Dizel motorların otomobillerde daha çok kullanılmaya başlamasıyla birlikte turboşarj gürültüsünün kontrolüne yönelik araştırmalarda artış gözlenmiştir. Rezonatör tip susturucular genellikle otomobil emiş sistemi gürültü kontrolü uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, otomobillerde kullanılan turboşarjlı bir dizel motoru için 1200 Hz – 2600 Hz frekans aralığında en az 20 dB'lik Ses İletim Kaybı (TL) düzeyini en fazla 1 kPa'lık geri basınç ile sağlayan bir rezonatör tip susturucunun tasarımı sayısal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal tasarım çalışmalarını takiben imal edilen prototip susturucu üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar; rezonatör tip susturucunun beklentileri karşıladığını ve tasarım sürecinde izlenen yöntemin etkinliğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rezonatör, Susturucu, Ses İletim Kaybı, Turboşarjer Gürültüsü.

## ABSTRACT

Widely use of diesel engines in automobiles, researches for turbocharger noise control applications are increasing. Resonator type silencers are widely used for reducing intake system noise of automobiles. In this study, a resonator that realizes 20 dB Sound Transmission Loss between the frequencies 1200 Hz and 2600 Hz with maximum 1 kPa back pressure is designed for an automobile diesel engine with turbocharger by using finite element method. After numerical design, a prototype was manufactured and the model was experimentally validated. The study showed that numerical design procedure is one of the most effective way to design such resonator type silencers.

**Key Words:** Resonator, Silencer, Sound Transmission Loss, Turbocharger Noise.

## 1. GİRİŞ

Susturuculardan istenen akustik performans şartları üç parametre üzerinden verilebilir. Bunlar: Ses Ekleme Kaybı, Gürültü Azaltımı ve Ses İletim Kaybı'dır.[1] Çalışmaya konu olan rezonatör tip susturucunun akustik performans hedefi, Ses İletim Kaybı (Sound Transmission Loss) üzerinden verilmiştir.

Ses İletim Kaybı (TL) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$TL = 10 \log \frac{W_{giriş}}{W_{çıkış}} [dB] \quad (1)$$

$W_{giriş}$ : Susturucunun giriş yüzeyindeki toplam ses gücü.

$W_{\text{çıkış}}$ : Susturucunun çıkış yüzeyindeki toplam ses gücü.

Rezonatör tip susturucular, özellikle düşük frekanslarda dar bant gürültünün azaltılmasında kullanılan, istenilen frekansa geometrisi değiştirilerek ayarlanabilen susturuculardır. Bu susturucuların, görece düşük geri basınçları ve akışın kirlenici etkilerinden oldukça az etkilenmeleri önemli avantajlarından.

Çalışma prensipleri Helmholtz Rezonatörü gibidir. Ayarlandıkları frekansta hacim içerisindeki hava rezonansa girerek, gelen ses dalgasını sönmeler. Ana boru üzerine farklı frekanslara ayarlanmış rezonatörler eklenerek, geniş bantta da gürültü azaltımı sağlanabilir.

Geri basınç ise susturucu tasarımında, akustik şartlardan sonra dikkat edilmesi gereken en önemli parametredir. Susturucudaki akış kayıpları, motor/fan vb. sistemlerin verimlerini düşürür. Turboşarjler için rezonatör tip susturucuların kullanılmasının bir nedeni de yansıtıcı tipte olanlara göre daha düşük bir geri basınca sebep olmalarıdır.

Bu çalışma kapsamında, otomobillerde kullanılan turboşarjlı bir dizel motor için 1200 Hz – 2600 Hz frekans aralığında en az 20 dB'lik Ses İletim Kaybı (TL) düzeyini, en fazla 1 kPa'lık geri basınç ile sağlayan rezonatör tip bir susturucunun tasarımı, sayısal yöntemler kullanılarak yapılmış ve üretilen prototip ile model, deneysel olarak doğrulanmıştır.

Susturucudaki basınç düşüşü (geri basınç), farklı hacimsel hava debilerinde yine sonlu elemanlar yöntemi ile ticari bir firmaya hesaplatılmıştır. Geri basınç analizi ise yine yapılan ölçüm ile doğrulanmıştır.

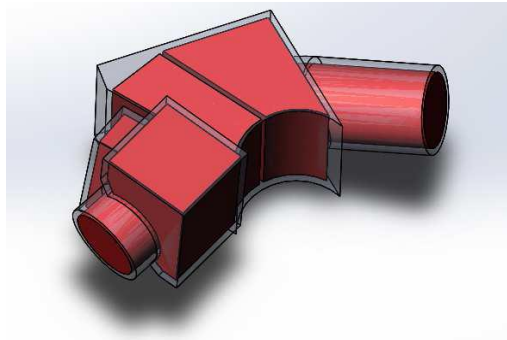
## 2. AKUSTİK TASARIM VE ANALİZLER

Basit bir Helmholtz Rezonatörü'nün doğal frekansı, boşluk hacmi, boynun genişliği ve boynun uzunluğuna bağlıdır. Bu parametreler ile oynanarak, rezonatör istenilen frekansa ayarlanır.

İstenilen frekans aralığında, istenilen ses iletim kaybını sağlamak üzere, kaç tane rezonatör kullanılacağı ve bu rezonatörlerin hangi frekanslara ayarlanacağı temel tasarım problemini oluşturmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, dış geometrisinin sınırları belirli bir rezonatör kutusu için, istenilen şartları sağlayacak bir tasarım yapılmıştır. Bu doğrultuda yapılan tasarım ile rezonatörlerin frekansları, boru üzerinde tek bir rezonatörün bulunması halinde tek tek analiz yapılarak, istenilen frekanslara geometri değiştirilmek suretiyle çekilmiştir. Sonrasında ise tüm rezonatörlerin aynı anda boru üzerinde bulunması halinde analiz yapılarak bu rezonatörlerin birbiri ile etkileşimleri incelenmiş, gerekli geometrik düzenlemeler yapılarak istenilen frekans aralığında, istenilen ses iletim kaybı sağlanmıştır.

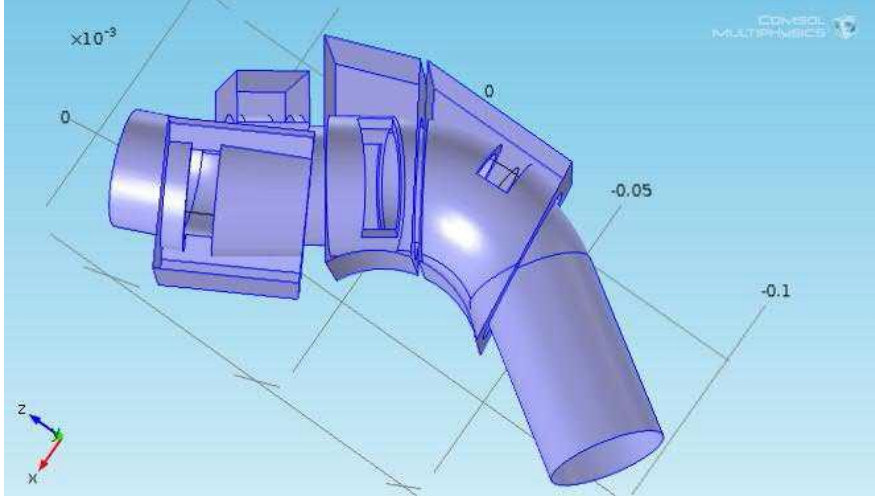
Aşağıda tasarlanan rezonatörün katı modeli ve hava modeli iç içe gösterilmiştir. Katı model, şeffaf olarak, hava (kavite) modeli ise kırmızı renkte gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Rezonatörün Katı ve Hava Modeli

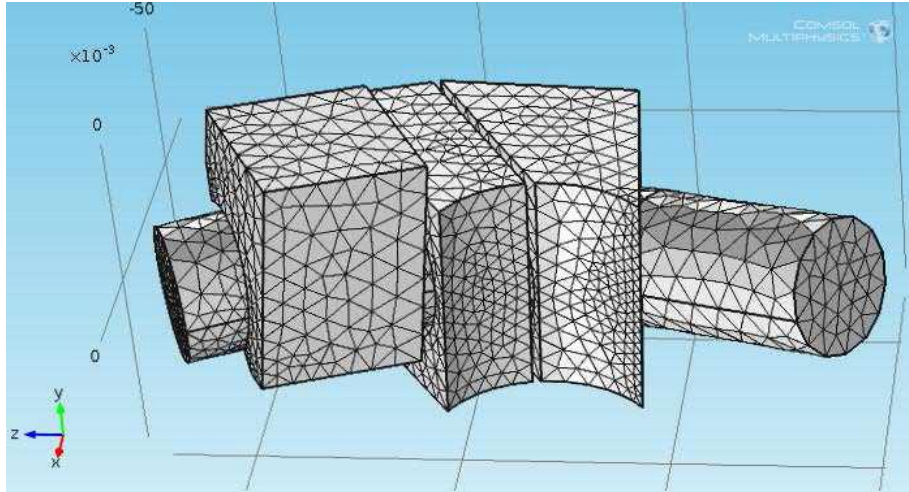
Rezonatörün akustik analizine ait parametreler aşağıda anlatılmıştır.

- Düzlem dalga kabulü altında rezonatörün girişine 1 Pa'lık düzlemsel dalga uygulanmıştır.
- Sadece hava modeli kullanılarak analiz yapılmıştır. Tüm yüzeylere rijit sınır koşulu uygulanmıştır. (Yani, duvarlarda partikül hızı sıfır.) Aşağıda bu yüzeyler gösterilmiştir. (Rezonatör çemberlerinin görülebilmesi için, üst yüzeyler kaldırılmıştır.)



**Şekil 2.** Rijit sınır koşulu uygulanmış duvarlar

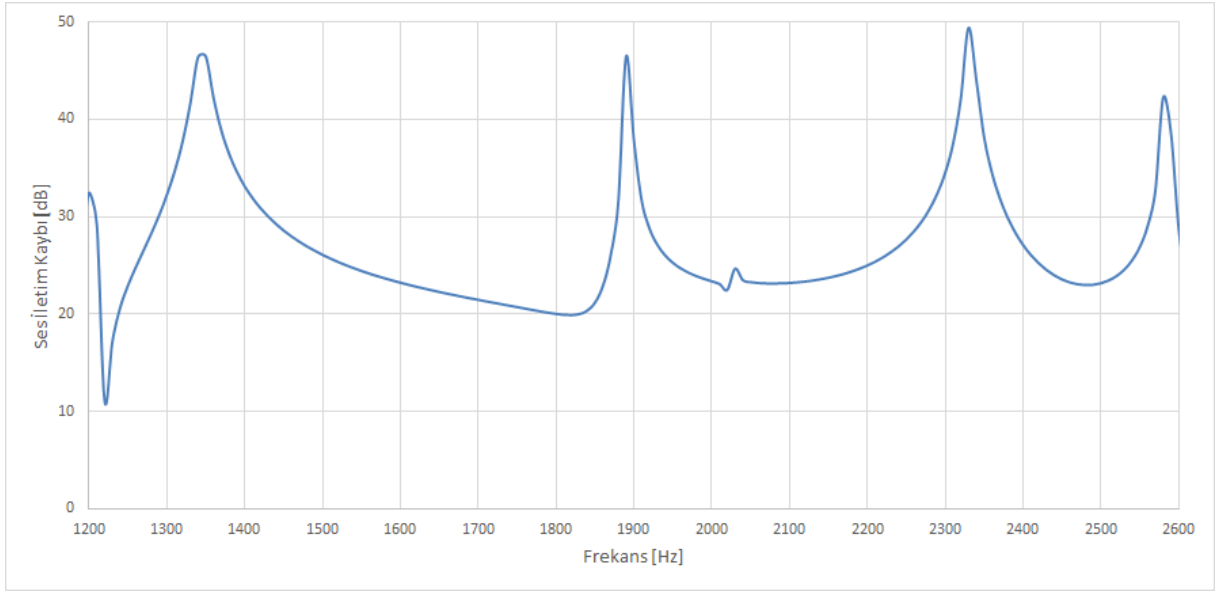
- Akustik analizde en küçük eleman boyutu, ilgilenilen en düşük frekanslı sesin o ortamdaki dalga boyunun en az dörtte biri kadar olmalıdır. Buna göre ağ yapısı oluşturulmuştur.



**Şekil 3.** Rezonatörün Ağ Yapısı

- Sıcaklık 25°C'dir. Sıcaklığın Ses İletim Kaybı üzerinde kaydırma etkisi vardır. Sıcaklık arttıkça ses iletim kaybı grafiği yüksek frekanslara doğru ötelenir.
- Akış etkisi ve vibroakustik etkiler ihmal edilmiştir.
- Giriş ve çıkış yüzeylerindeki toplam ses gücü 10 Hz'lik artımlarla 1190 Hz – 2610 Hz arasında hesaplanmış ve bu ses güçlerinin farkından ses iletim kaybı hesaplatılmıştır.

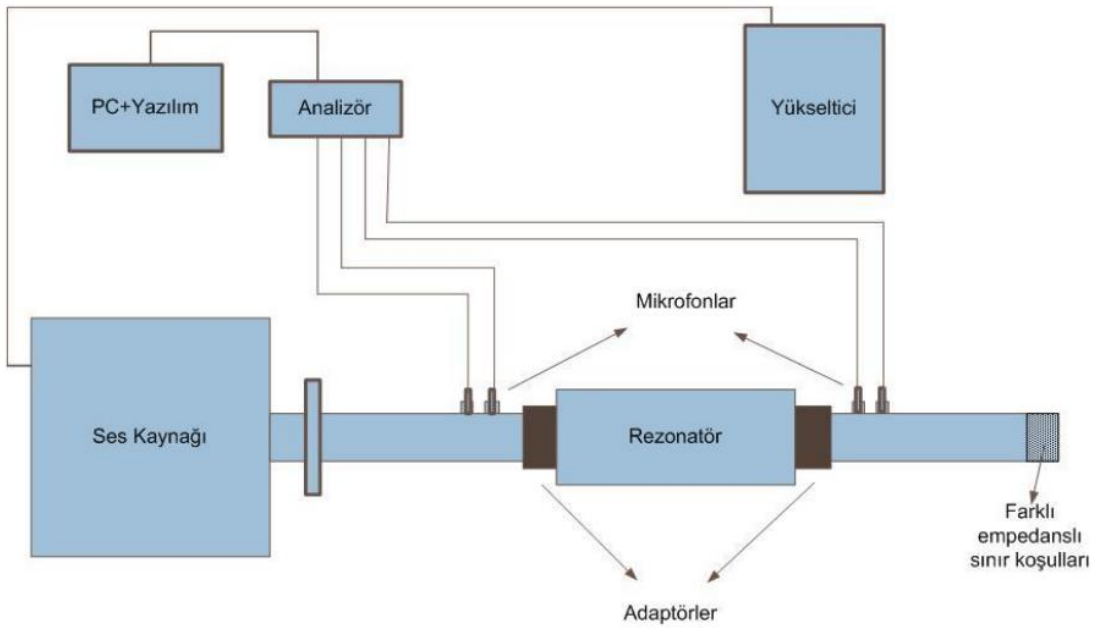
Aşağıda akustik analiz sonucunda elde edilen Ses İletim Kaybı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4. Akustik analiz sonucunda hesaplanan Ses İletim Kaybı

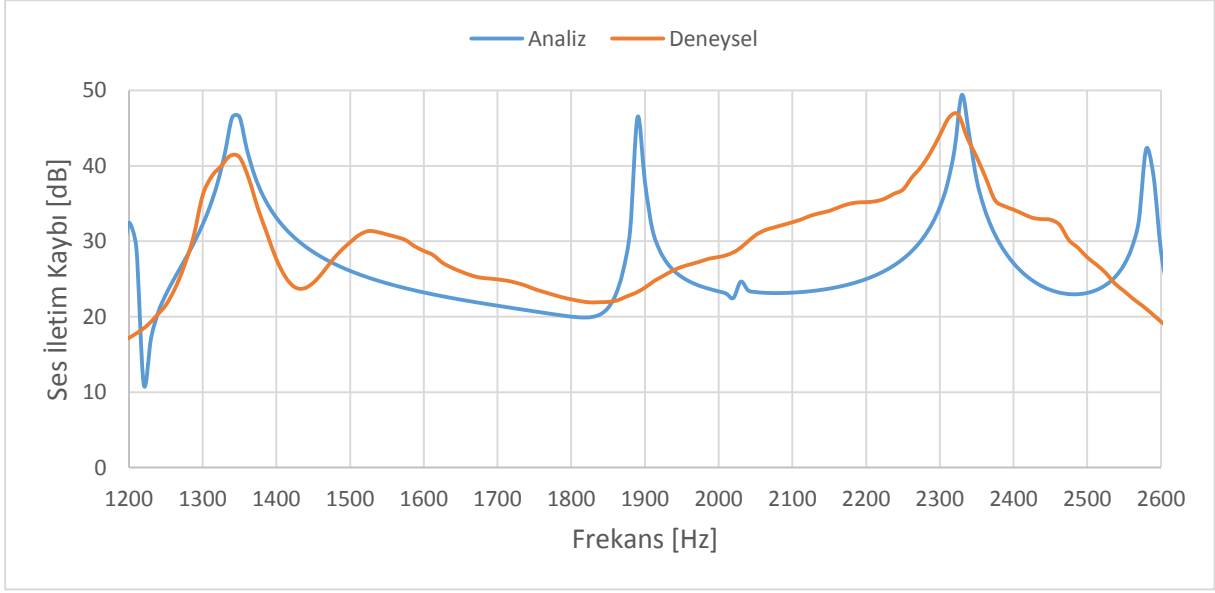
### 3. SES İLETİM KAYBI ÖLÇÜMÜ

Akustik analizler sonunda tasarımı yapılan rezonatörün bir prototipi üretilerek, ASTM E 2611 (4 Pole Transfer Matrix Based Method) Standardı'na uygun olarak ses iletim kaybı hesaplanmıştır. Aşağıda deneyde kullanılan ölçme sisteminin bir şeması gösterilmiştir. [2]



Şekil 5. Ses İletim Kaybı Ölçme Sistemi

Aşağıda deneysel yöntem ve analiz sonucunda hesaplanan ses iletim kaybı eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 6. Ses İletim Kaybı Karşılaştırması

## SONUÇ

Çalışma sonucunda, 1200 Hz – 2600 Hz arasında en az 20 dB'lik Ses İletim Kaybı'nı 1 kPa'lık geri basınç ile sağlayan, rezonatör tip bir susturucunun tasarımı yapılmıştır. Akustik analiz sonuçları deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Yapılan çalışma, susturucu tasarımında sonlu elemanlar yönteminin etkinliğini göstermiştir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması, zaman, prototip ve test maliyetleri gibi tasarım süreci girdilerinden tasarruf edilmesine imkan sağlar.

## KAYNAKLAR

- [1] Barron, Randall F. ; (2001) Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, Inc.
- [2] Erol H., Saf O., 2008. Experimental Studies On Acoustic Attenuation And Pressure Loss Characteristics Of Perforated Pipes In An Expansion Chamber. 16th International Congress on Sound and Vibration, July 5-9, Krakow, Polonya.
- [3] COMSOL Multiphysics User Manual

## ÖZGEÇMİŞ

### Haluk EROL

1965 yılında İstanbul'da doğdu. 1986 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nden mezun oldu ve aynı yıl İTÜ Makina Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı fakültede öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.



Prof. Dr. Haluk EROL, Makina Dinamiği, Titreşimler ve Titreşim Kontrolü, Titreşim Ölçümleri, Akustik ve Gürültü Kontrolü, Ses ve Gürültü Ölçümleri ve Mühendislik Akustiği konularında çalışmalar yapmaktadır. Söz konusu konularla ilgili ulusal ve uluslararası yayınları bulunmaktadır.

### **Ahmet ÇAĞLAYAN**

Ahmet Çağlayan, 1991 yılı Düzce doğumludur. 2014 yılında İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversitede Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustiği Yüksek Lisans Programı'nda öğrenimine devam etmektedir. Aynı zamanda, Bias Mühendislik Şirketi'nde Test ve Ölçüm Mühendisi olarak görev yapmaktadır.