

## Reaktif tip susturucunun iç tasarımının akış ve akustik özelliklerine etkisinin incelenmesi

Yunus Özkan<sup>1\*</sup>, İbrahim Özsert<sup>2</sup>, Vezir Ayhan<sup>3</sup>, İdris Cesur<sup>4</sup>

*09.03.2015 Geliş/Received, 09.11.2015 Kabul/Accepted*

### ÖZ

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu açığa çıkan gürültünün kontrolü için susturucular kullanılmaktadır. Susturucular motor özelliklerine göre farklı tiplerde üretilmektedir. En yaygın kullanılan tiplerden biri reaktif susturuculardır. İçerisinde herhangi bir yutucu malzeme kullanılmadığı ve kullanım ömrü boyunca aynı performansı gösterdiği için bu susturucular daha çok tercih edilmektedir. Bu makalede reaktif tip bir susturucunun iç tasarımının akış ve akustik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Susturucu dış ölçüleri sabit tutulup iç tasarımda porozite oranları, perfore boru uzunluğu değiştirilerek akış ve akustiğe olan etkileri incelenmiştir. İç tasarım parametresi olarak delik çapı, delik sayısı ve perfore boru uzunluğu seçilmiştir. Parametre değişimlerinin akış ve akustik özelliklerine etkisi sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Akustik özelliği olarak susturucunun iletim kaybı analizi yapılmış, akış analizinde ise susturucunun basınç kayıpları hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** susturucu, iletim kaybı, basınç düşümü, reaktif tip susturucu

## Examination inner design effect on flow and acoustics properties of a reactive muffler

### ABSTRACT

Mufflers are used to control noise that occur after firing in the internal combustion engines. Muffler are produced different types according to engine specifications. The most commonly used type of muffler is reactive muffler. Reactive mufflers are preferred mostly because they dont include any absorptive materials and perform same performance along their life. In this article, inner design of a reactive muffler effect on flow and acoustics properties is examined. Muffler's outer dimensions are fixed and changed porosity, perforated length to examine effect on flow and acoustics. Change of paremeters effect on flow and acoustics are analyzed with finite element programs. Tranmission loss are analyzed for acoustics property, and pressure drop are analyzed for flow property.

**Keywords:** muffler, tranmission loss, pressure drop, reactive muffler

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği, Sakarya – yunus.ozkan@hotmail.com

2 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya – ozsert@sakarya.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya – vayhan@sakarya.edu.tr

4 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya – icesur@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşıtlarda meydana gelen gürültünün başlıca sebeplerinden biri egzoz kaynaklı gürültü kirliliğidir. Yanma işlemi sonrasında yüksek basınca sahip egzoz gazlarının dışarıya atılması esnasında meydana gelen ani basınç değişimleri yüksek egzoz gürültüsünün oluşmasına neden olmaktadır. Bu gürültüyü en aza indirmek için taşıtlarda susturucular kullanılmaktadır.

Susturucular yapısal özelliklerine göre aktif ve pasif olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Aktif susturucular motorda oluşan gürültüye zıt fazda gürültü oluşturularak sesin sönümlendiği susturuculardır. Kullanım zorlukları ve maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Gürültünün azaltılmasında daha çok pasif tip susturucular kullanılmaktadır. Pasif susturucular kullanım alanlarına göre reaktif, yutucu ve hibrid tip olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Reaktif tip susturucular, içerisindeki perfore borular ve genişleme odaları ile sesin sönümlendiği susturuculardır. Yutucu tip susturucular içerisinde sesi sönümleyici etkiye sahip malzemelerin kullanıldığı susturuculardır. Bu malzeme akustik enerjiyi ısı enerjisine çevirerek sesin azaltılmasına yardımcı olur. Hibrid tip susturucular ise reaktif ve yutucu tip susturucuların birleşiminden oluşmaktadır. İçerisinde hem yalıtım malzemeleri hem de perfore borular ve genişleme odaları kullanılarak sesi sönümleyen susturuculardır [1]. Yutucu ve hibrid tip susturucularda bulunan sönümleyici malzemeler belirli bir kullanım sonrası maruz kaldığı yüksek gaz sıcaklıkları nedeni ile yapısal özelliklerini kaybetmektedirler. Reaktif tip susturucular ise yapısı gereği daha uzun kullanım ömrüne sahip olduklarından daha çok tercih edilmektedir.

Susturucunun motorda performans kaybına neden olmadan egzoz gürültüsünü en aza indirmesi gerekmektedir. Bunun için susturucunun kullanılacak motor özelliklerine göre gürültü frekansı, motor devri ve performans dikkate alınarak akış ve akustik özelliklerini etkileyen iç tasarım parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Reaktif susturucularda akış ve akustik özelliklerini belirleyen iç tasarım parametreleri; porozite oranı, delik sayısı ve oda hacimleridir. Bunlardan porozite oranı; deliklerin borunun toplam yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrelerin değişimi egzoz gazının akış özelliklerini değiştirmekte ve karşı basıncın oluşmasına sebep olmaktadır. Egzoz hattında meydana gelen karşı basınç, egzoz zamanında silindirden dışarıya atılan gaz çıkışına karşı direnç oluşturduğundan pompalama kayıplarını arttırmaktadır. Aynı zamanda silindir içerisinde kalan artık gaz kesrinin artmasına neden olduğundan volümetrik verimi azaltmakta ve motordan elde edilebilecek performansı düşmektedir [2]. Performans kaybı yaşanmaması için susturucu tasarımı yapılırken motor üreticisi tarafından

belirtilen karşı (geri) basınç limitlerinin üstüne çıkılmaması gerekmektedir.

Ayrıca iç tasarımda kullanılan parametreler susturucunun akustik özelliğini de belirlemektedir. Susturucunun akustik özelliğini tanımlayan üç değişken vardır. Bunlar ekleme kaybı, gürültü indirgenmesi ve iletim kaybı olarak sıralanabilir. Ekleme kaybı; araç üzerinde susturucu olduğu durumda ölçülen ses seviyesi ile susturucu olmadan ölçülen ses seviyesi arasındaki farktır. Ekleme kaybında, susturucu yokken alınan ölçüm kaynağa (motor) bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden dolayı susturucuların tasarım aşamasında tercih edilmemektedir. Gürültü indirgenmesi; susturucu girişi ve çıkışında ölçülen ses basıncı seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Gürültü indirgenmesi hesaplanabilmesi zor bir özellik ve susturucu çıkış şartlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. İletim kaybı ise; susturucuya giren ve çıkan ses gücü seviyeleri arasındaki farktır. Bunlardan ekleme kaybı ve gürültü (azaltımı) indirgenmesi motor özellikleri ve ortam şartlarına göre değişiklik gösterirken, iletim kaybı motor özelliklerinden bağımsızdır. Bu sebeple susturucunun akustik özelliğinin belirlenmesinde susturucunun iletim kayıpları hesaplanmaktadır [3]. Susturucunun kullanılacağı aracın hangi frekanslarda ne kadar gürültü yaydığı testlerle belirlenmektedir. Bu testler sonucunda susturucunun hangi frekansta ne kadar gürültü azaltması gerektiği ortaya çıkmaktadır. İletim kaybı analizlerinde susturucunun hangi frekanslarda ne kadar sesi azaltmış olduğu tespit edilerek susturucunun araca uygun olup olmadığı tespit edilmiş olur.

Jones, P. ve ark.[4] dört farklı sonlu elemanlar yazılımı kullanarak üç farklı tip reaktif tip susturucunun iletim kaybını hesaplamışlardır. Bu üç tip susturucunun iki mikrofon metoduyla iletim kaybı ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel ve analiz sonuçlarını karşılaştırdıklarında rezonans frekanslarının ve bu frekanslarındaki iletim kaybı değerlerinin örtüştüğünü tespit etmişlerdir. Fakat yüksek frekanslarda bazı uyumsuzlukların olduğunu ve bunun ağ örgüsü yapısından ve iletim kaybı için kullanılan formüllerin farklı olmasında kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Andersen, K.S. [5] susturucu iletim kaybının COMSOL yazılımı kullanarak transfer matrisi yöntemiyle hesaplatmıştır. Susturucuların iletim kaybı ölçümlerini iki yük yöntemi kullanarak gerçekleştirilmiştir. Yansıtıcı tip ve perforeli akış dağıtıcı tip susturucuların ölçüm sonuçlarıyla örtüştüğünü fakat yutucu tip susturucuda farklılar olduğunu belirtmiştir.

Pangavhane, S. D. ve arkadaşları [6] iç tasarımı perfore borudan oluşan bir susturucunun akış analizlerini yapmışlardır. Çıkan sonuçları ölçüm sonuçlarıyla

karşılaştırmışlardır. Susturucu içerisindeki borunun porozite oranı ikiye çıkarıldığı zaman geri basıncın % 75 oranında azaldığını söylemişlerdir. Perfore boru üzerindeki deliklerin çapı arttırıldığı zaman ise geri basıncı % 40 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

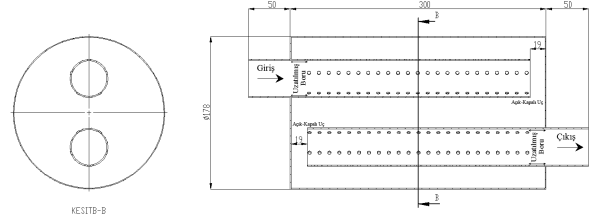
Kore, S. ve arkadaşı [7] reaktif bir susturucunun akış ve akustik analizlerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda susturucunun maksimum iletim kaybı değeri olarak 14 dB bulunmuşlardır. Bu sonuç analitik çözümlerle de doğrulanmıştır.

Fang, J. ve arkadaşları [8] CFD yazılımı kullanarak susturucudaki basınç kaybını hesaplamışlardır. Susturucu girişindeki hızın arttığında basınç kaybının da arttığını belirtmişlerdir. Analizi yapılan susturucunun basınç kayıp değeri olarak 3824,8 Pa olarak bulunmuşlardır. Bu susturucunun deneysel sonucu olarak ise 4572.26 Pa olarak bulunmuşlardır. Arada % 19.54'lük hata bulunduğunu belirtmişlerdir.

Reaktif tip susturucularda egzoz gazının tahliyesi, yön değiştirmesi ve odalar arası geçişi genellikle perfore borular vasıtasıyla sağlanmaktadır. Perfore boruların özelliğini ise üzerinde bulunan delik çapları, sayısı ve dizilimi tanımlamaktadır. Perfore özellikleri de susturucu iç tasarımında önem kazanmaktadır. Bu makalede susturucuların akış ve akustiğini etkileyen parametrelerden porozitenin, perfore boru uzunluğunun ve konumunun akış ve akustiğe olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, susturucu tasarımı yapılırken hangi parametrelerin değişiminin ne gibi etkilere sebep olduğu görülmüştür.

## 2. SUSTURUCU TASARIMI (MUFFLER DESIGN)

Susturucu içerisinde bulunan perfore borular sesin azaltılmasında önemli bir etkiye sahiptirler. Bu makalede perfore borudaki porozite oranı, uzatılmış boru etkisi ve açık kapalı ucun akustik ve geri basınca olan etkileri incelenmiştir. Susturucu içerisinde bulunan perfore boruların davranışı inceleneceği zaman iki tanım ön plana çıkmaktadır. Bunlar açık alan oranı ve porozite oranıdır. Açık alan oranı perfore boru üzerindeki deliklerin toplam alanının perfore borunun kesit alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Porozite ise perfore borunun toplam alanının perfore boru alanına oranıdır. Susturucu iç tasarımında Şekil 1'de görüldüğü üzere tek odalı ve 2 adet perfore borudan oluşan basit bir model seçilmiştir. Perfore boruya ait bazı parametreler seçilmiş ve bu parametreler değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Susturucuya ait incelenecek olan parametreler ve değerleri Tablo-1'de verilmiştir.



Şekil 1. Susturucu İç Tasarımı (Muffler Inner Design)

Bunlardan ilk üç modelde (Model 1, Model 2, Model 3) perfore boru uzunlukları sabit tutularak porozite oranları değiştirilmiştir. Model 4, Model 5, Model 6'da porozite oranları sabit tutularak giriş kısmında borunun perfore olmadığı uzunluk artırılmıştır. Perfore olmayan düz kısım uzatılmış boru etkisi olarak tanımlanmıştır. Model 7, Model 8 ve Model 9'da perfore boruların uç kısımları kapatılmıştır. Model 10, Model 11 ve Model 12'de her iki yönde uzatılmış boru etkisinin akış ve akustik üzerine etkileri analiz edilmiştir. Parametrelerin değişiminin etkisini görebilmek için değerler aynı oranda değiştirilmiştir.

Tablo 1. Susturucu İç tasarım Parametreleri (Muffler Inner Design Parameters)

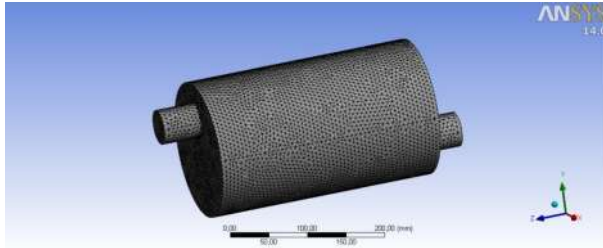
	Delik Çapı (mm)	Porozite Oranı	Uzatılmış Boru (mm)	Tek-Çift Taraf	Açık-Kapalı Uç
Model 1	Ø4	0,0386	20 mm	Tek	Açık
Model 2	Ø5	0,0604	20 mm	Tek	Açık
Model 3	Ø6	0,0869	20 mm	Tek	Açık
Model 4	Ø4	0,0386	20 mm	Tek	Açık
Model 5	Ø4	0,0386	40 mm	Tek	Açık
Model 6	Ø4	0,0386	60 mm	Tek	Açık
Model 7	Ø4	0,0386	20 mm	Tek	Kapalı
Model 8	Ø5	0,0604	20 mm	Tek	Kapalı
Model 9	Ø6	0,0869	20 mm	Tek	Kapalı
Model 10	Ø4	0,0386	20 mm	Çift	Açık
Model 11	Ø4	0,0386	40 mm	Çift	Açık
Model 12	Ø4	0,0386	60 mm	Çift	Açık

## 3. AKIŞ ANALİZİ (FLOW ANALYSIS)

Susturucuların akış analizleri için ANSYS-CFX yazılımı kullanılmıştır. Akış analizinde susturucu giriş ve çıkış şartları belirtilmiştir. Susturucu giriş şartı olarak kütleli debi (0.1 kg/s) ve 500 °C sıcaklık, çıkış şartı olarak açık hava basıncı (101325 Pa) tanımlanmıştır. Susturucu içerisindeki akış türbülanslı akış olduğu için k-epsilon modeli kullanılmıştır. Giriş şartı olarak debinin belirtilmesi maksimum yükteki motor egzoz debisinin bilinmesidir. Çıkışta ise egzoz gazları susturucudan atmosfere atıldıkları için atmosfer basıncı tanımlanmıştır. Akış analizlerinde bir diğer önemli parametre sıcaklığın etkisidir. Sıcaklığın değişmesiyle birlikte akışkana ait yoğunluk, viskozite değerleri değişeceği için geri basınç değeri de önemli oranda

etkilecektir. Bu sebeple akışkan sıcaklığı olarak turbo çıkış sıcaklığı olan 500 °C tanımlanmıştır.

Akış analizinde susturucu içerisindeki gaz için hava atanmıştır. Hava, egzoz gazına yakın özellikler taşıdığı için kullanılmaktadır [9]. Susturucu geometrisi karmaşık olduğundan dolayı daha düzgün ağ örgüsü elde edebilmek için hexahedral elemanlar değil tetrahedral elemanlar tercih edilmiştir. O. [1] ve Çetin, O. [2] yüksek lisans tezlerinde susturucu içerisindeki basınç kayıplarının analizlerini yaparken tetrahedral elemanlar kullanmışlardır. Susturucu içerisinde bulunan perfore borular, kanallar ve perdeler akışa engel olmakta ve durgunluk basıncının [10] yükselmesine sebep olmaktadır.



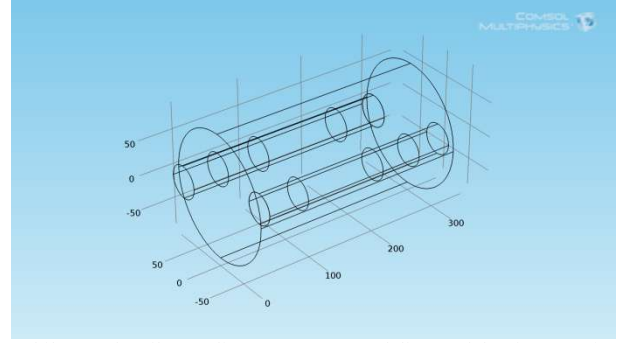
Şekil 2. Akış Analiz Susturucu Ağ Örgüsü (Mesh of Flow Analysis )

Egzoz gazları susturucu içerisinde hareket ederken içerisinde bulunan perfore borular akışa engel olarak bir geri basınç oluşturmaktadır. Bu geri basınç susturucu giriş ve çıkışındaki toplam basınç değişiminden hesaplanabilmektedir. Yapılan analizlerde susturucu içerisindeki durgunluk basıncı (toplam basınç) değişimleri incelenmiştir.

#### 4. AKUSTİK ANALİZ (ACOUSTICS ANALYSIS)

Susturucuların akustik analizleri COMSOL yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Susturucuların mümkün olan en geniş bant aralığında en iyi ses azaltılması istenir. Bu nedenle geniş aralık alınarak susturucuların 0-3000 Hz aralığındaki iletim kayıpları hesaplanmıştır. Susturucular COMSOL yazılımında modellenerek susturucu içerisindeki perfore boruların porozitesi ve duvarlar tanımlanmıştır. Perfore boru kalınlığı 1.5 mm olarak verilmiştir.

Daha öncede tanımlandığı gibi iletim kaybı susturucu giriş ve çıkışındaki ses gücü seviyeleri arasındaki farktır. İletim kaybı hesaplarında denklem 4.1. kullanılmaktadır. Bu formülasyonda  $P_g$  gelen dalganın ses gücünü,  $P_y$  iletilen dalganın ses gücünü ifade etmektedir. Bu ses gücü değerleri dinamik basınçlardan hesaplanmaktadır. Bu sebeple susturucu giriş basıncı olarak 1 Pa tanımlanmıştır.

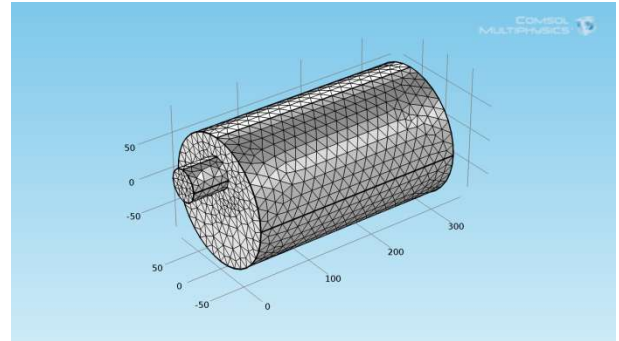


Şekil 3. Akustik Analiz Susturucu Modeli (Model of Acoustics Analysis )

$$\dot{K} = 10 \log \frac{P_g}{P_y} \quad (1)$$

#### 4.1. İletim Kaybı Denklemi

Modelin ağ örgüsü yapısının oluşturulmasında free tetrahedral elemanlar atanmıştır. Ağ örgüsü boyutu dalga boyunun altıda birinden büyük olmamalıdır [11]. Bu nedenle maksimum ağ örgüsü boyutu olarak 16.33 mm verilmiştir.

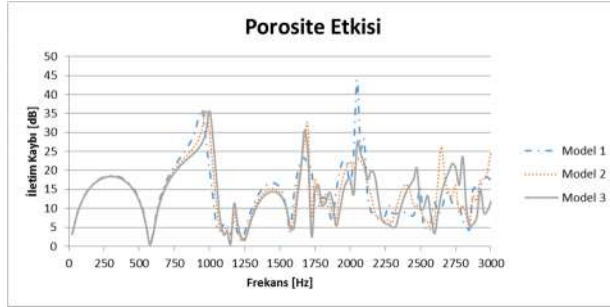


Şekil 4. Akustik Analiz Ağ Örgüsü (Mesh of Acoustics Analysis)

### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

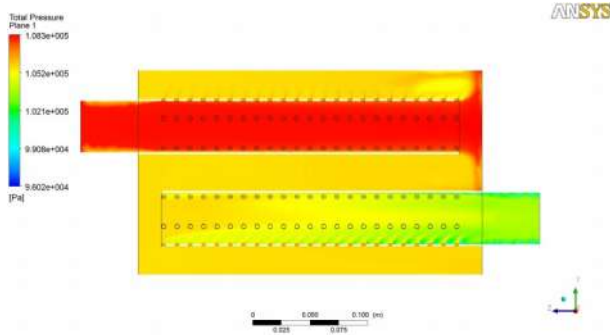
#### 5.1. Porozite Etkisi (Porosity Effect)

Model 1, Model 2 ve Model 3'de susturucu içerisindeki perfore borularda delik çapları sırasıyla Ø4, Ø5 ve Ø6 mm alınarak porozite etkisi incelenmiştir. Şekil 5 'de susturuculara ait iletim kaybı analiz sonuçları verilmiştir. Akustik analiz sonuçları incelendiğinde porozitenin artması düşük frekanslarda herhangi bir etki oluşturmazken yüksek frekanslarda iletim kaybının arttığı görülmüştür.



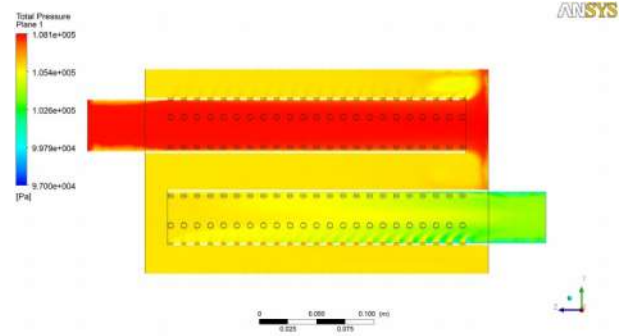
Şekil 5. Model 1, 2,3 İletim Kaybı (Model 1, 2, 3 Transmission Loss)

Susturucu içerisine giren egzoz gazları boru üzerindeki delikleri değil uç kısımdaki açıklıktan tahliye oldukları için porozitenin değişmesi geri basınca herhangi bir etki yapmamıştır. Susturucu basınç değişimleri incelendiğinde susturucu içerisinde basıncın homojen şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu da egzoz gazının susturucu içerisinde daha rahat akmasına ve geri basıncın düşük olmasına neden olmaktadır. Model 1’de geri basınç değeri olarak 4711,9 Pa, Model 5’ de 4637,3 Pa ve Model 3’de ise 4701,6 Pa bulunmuştur. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında sonuçlar arasında büyük fark olmadığı görülmektedir. Model 1, Model 2 ve Model 3’e ait basınç değişimleri Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.

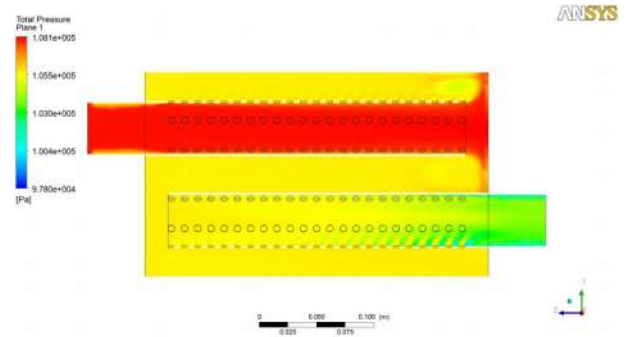


Şekil 6. Model 1 Basınç Dağılımı (Model 1 Pressure Distribution)

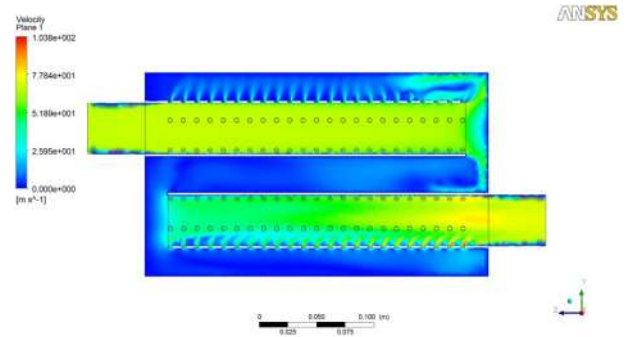
Susturucu içerisindeki hız dağılımları incelendiğinde egzoz gazının çok az bir kısmının deliklerden içeriye dolduğu büyük kısmının perfore borunun ucundaki açıklıktan girdiği görülmüştür. Egzoz gazları atmosfere atılırken çıkış kısmına yakın yerdeki perfore deliklerini kullandığı için bu kısımlarda hızın arttığı görülmüştür. Model 1, Model 2 ve Model 3 ait hız değişimleri Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.



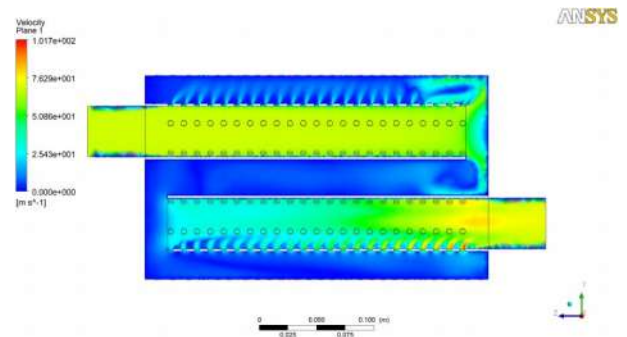
Şekil 7. Model 2 Basınç Dağılımı (Model 2 Pressure Distribution)



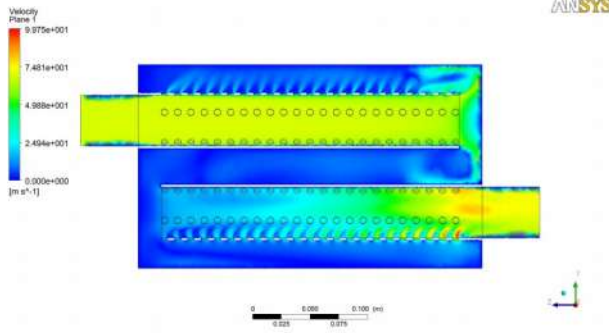
Şekil 8. Model 3 Basınç Dağılımı (Pressure Distribution)



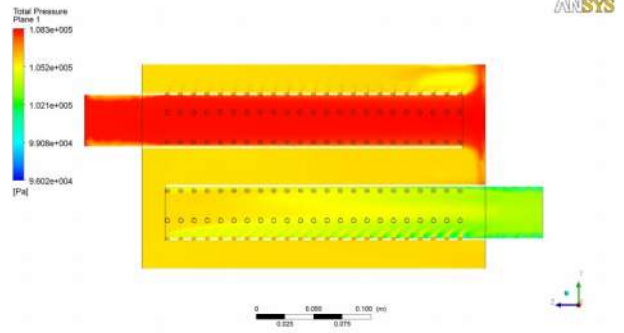
Şekil 9. Model 1 Hız Dağılımı (Model 1 Velocity Distribution)



Şekil 10. Model 2 Hız Dağılımı (Model 2 Velocity Distribution)



Şekil 11. Model 3 Hız Dağılımı (Model 3 Velocity Distribution)

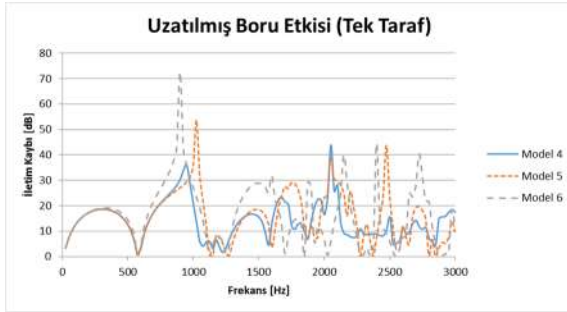


Şekil 13. Model 4 Basınç Dağılımı (Model 4 Pressure Distribution)

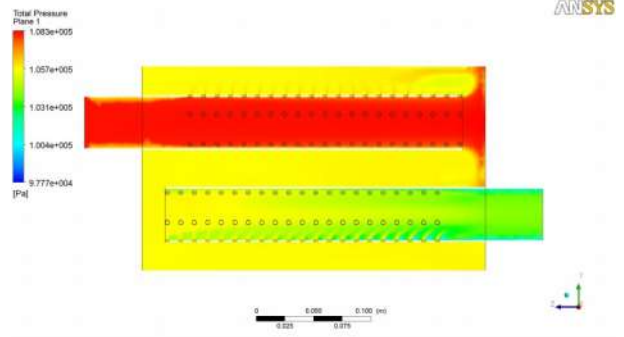
## 5.2. Uzatılmış Boru Etkisi (Tek Taraf) (Extended Pipe Effect (One Direction))

Model 4, Model 5 ve Model 6'da perfore borular üzerindeki porozite oranı sabit tutularak giriş kısmında düz (perfore olmayan) boru oluşturularak akış ve akustik üzerine olan etkileri incelenmiştir. Şekil 12'de bu üç susturucuya ait iletim kaybı eğrileri verilmiştir. Perfore boru üzerindeki uzatılmış boru etkisi susturucunun belirli frekanstaki iletim kaybını arttırmıştır. Bunlardan Model 6 900 Hz'de 72 dB ile en yüksek iletim kaybına sahiptir.

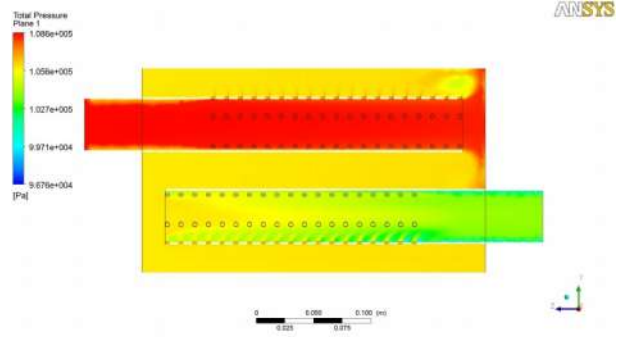
Susturucu içerisindeki basınç değişimi incelendiğinde ise herhangi bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Model 4, Model 5 ve Model 6'ya ait basınç değişimleri Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'de verilmiştir. Geri basınç değerleri Model 4' de 4701.8 Pa, Model 5' de 4705.7 Pa ve Model 6' da ise 4798 Pa olduğu saptanmıştır. Geri basınç değerleri ilk üç modelle (Model 1, Model 2 ve Model 3) kıyaslandığında herhangi bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi akışa engel olabilecek yönde bir değişikliğin yapılmadığıdır. Susturucu perfore boru ucundaki açıklıktan homojen bir şekilde dağılmaktadır.



Şekil 12. Model 4, 5, 6 İletim Kaybı (Model 4, 5, 6 Transmission Loss)



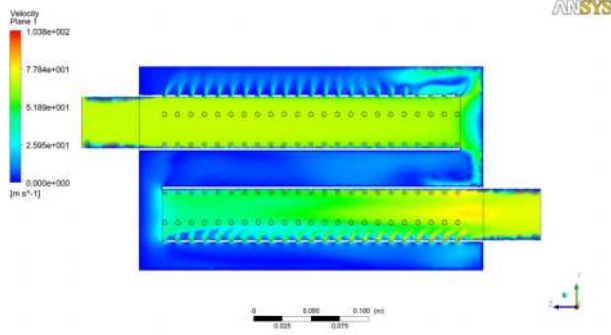
Şekil 14. Model 5 Basınç Dağılımı (Model 5 Pressure Distribution)



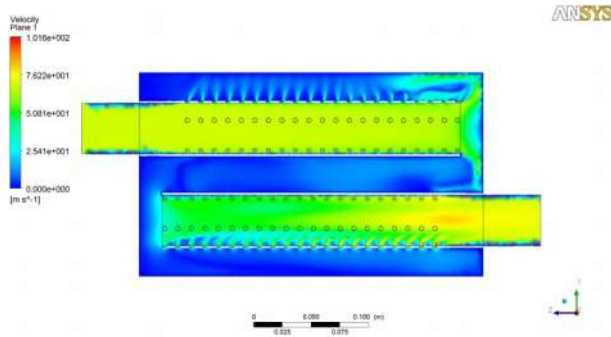
Şekil 15. Model 6 Basınç Dağılımı (Model 6 Pressure Distribution)

Model 4, Model 5 ve Model 6'a ait hız değişimleri Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. Susturuculara ait hız değişimleri incelendiğinde yine ilk üç modele (Model 1, Model 2 ve Model 3) yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Susturucu içerisindeki hız dağılımlarına bakılırsa aynı bölgelerdeki hızlar birbirine yakındır.

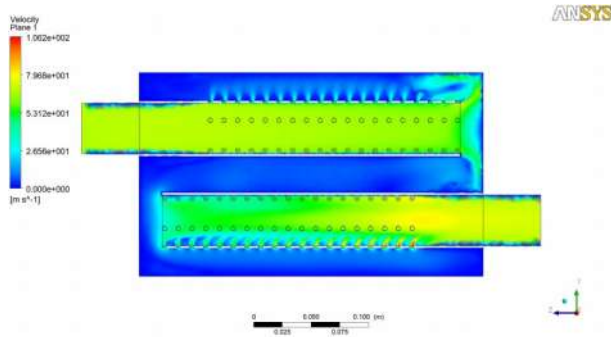




Şekil 16. Model 4 Basınç Dağılımı (Model 4 Pressure Distribution)



Şekil 17. Model 5 Basınç Dağılımı (Model 5 Pressure Distribution)



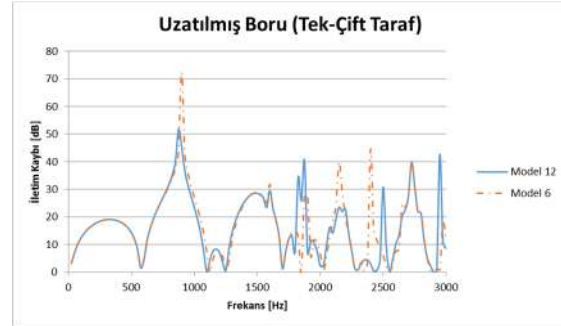
Şekil 18. Model 6 Basınç Dağılımı (Model 6 Pressure Distribution)

### 5.3. Uzatılmış Boru Etkisi (Çift Taraf) (Extended Pipe Effect)

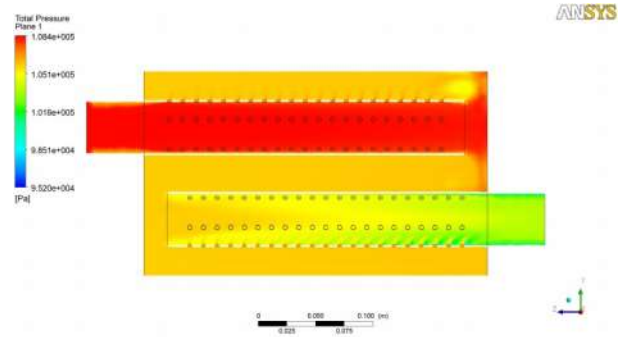
Şekil 19’da uzatılmış borunun giriş ve çıkış borularında sadece girişte olduğu Model 6 ve giriş ve çıkışta birlikte olduğu Model 12’nin karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 19’da görüldüğü gibi perfore boru üzerindeki düz borunun her iki tarafta da olması iletim kaybı açısından olumsuz sonuç vermiştir. Susturucunun baskın olduğu frekanstaki iletim kaybının azalmasına sebep olmuştur. Borunun tek taraftan uzatıldığı zaman en yüksek iletim kaybı 875 Hz’de 72,5 dB iken, çift taraftan uzatıldığı zaman 51,8 dB’e düştüğü görülmüştür.

Geri basınçta değerleri incelendiği zaman Model 10’ da 4798,06 Pa, Model 11’de 4868,4 Pa ve Model 12’de ise 5012 Pa geri basınç değeri bulunmuştur. Susturucu iç

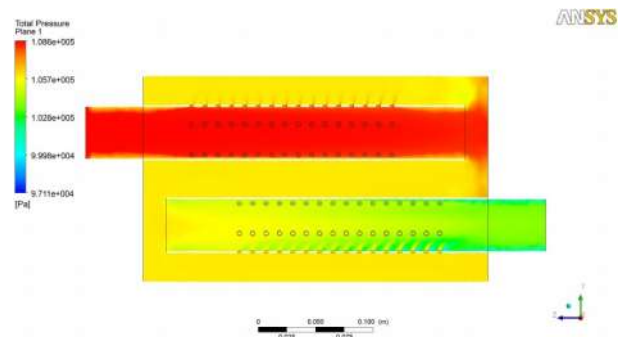
tasarımı akışı etkileyecek yönde bir değişiklik içermediği için geri basınçların çok fazla değişmediği görülmüştür. Model 10, Model 11 ve Model 12’ye ait basınç değişimleri Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22’de verilmiştir. Uzatılmış boru etkisinde egzoz gazı deliklerden değil de boru sonundaki açıklıktan tahliye olduğu için yapılan değişikliklerin geri basınca etkisinin az olduğu görülmüştür.



Şekil 19. Model 6, 12 İletim Kaybı

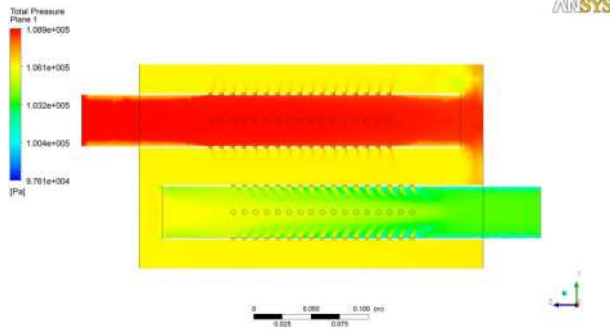


Şekil 20. Model 10 Basınç Dağılımı (Model 10 Pressure Distribution)

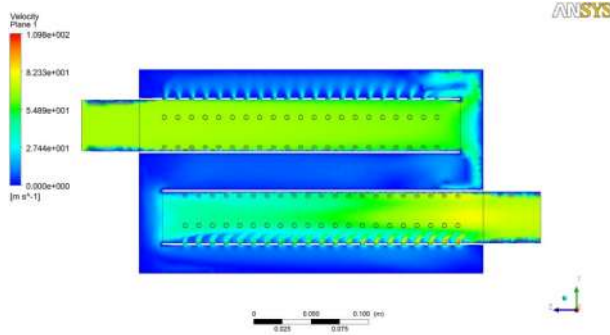


Şekil 21. Model 11 Basınç Dağılımı (Model 11 Pressure Distribution)

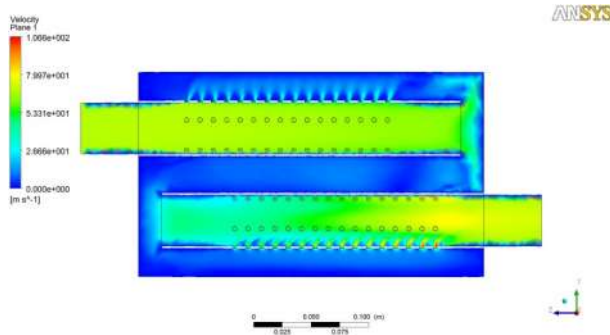
Susturucu içerisindeki hız dağılımları Model 10 için Şekil 23’de, Model 11 için Şekil 24’de ve Model 12 için Şekil 25’de verilmiştir. Susturucu içerisindeki hız dağılımları incelendiği zaman, egzoz gazının büyük kısmı boru çıkışından tahliye olduğu için boru üzerindeki deliklerde hızların yakın olduğu görülmüştür.



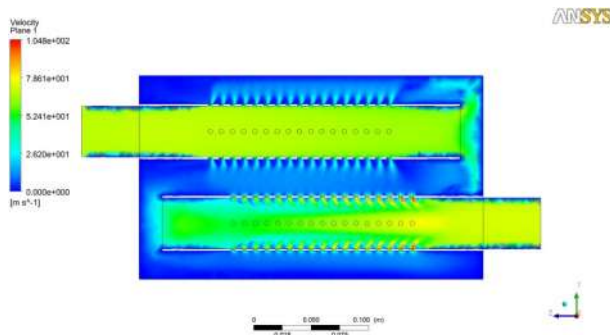
Şekil 22. Model 12 Basınç Dağılımı (Model 12 Pressure Distribution)



Şekil 23. Model 10 Hız Dağılımı (Model 10 Velocity Distribution)



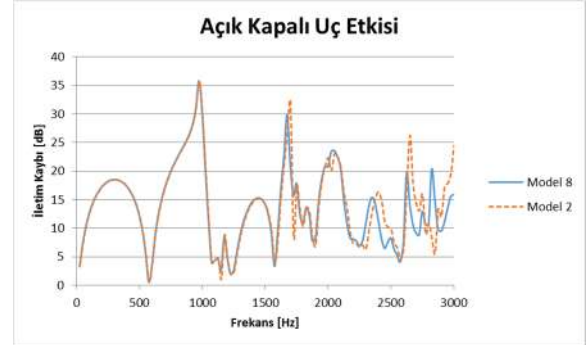
Şekil 24. Model 11 Hız Dağılımı (Model 11 Velocity Distribution)



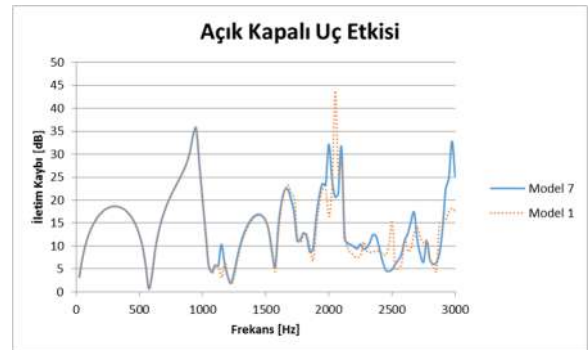
Şekil 25. Model 12 Hız Dağılımı (Model 12 Velocity Distribution)

#### 5.4. Açık Kapalı Uç Etkisi (Open-End Effect)

Şekil 26 ve Şekil 27' de perfore boru çıkışının kapalı veya açık olmasının susturucunun akustik özellikleri üzerine etkisi görülmektedir. Analizler sonucunda susturucunun düşük frekanslarda yaklaşık aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Yüksek frekanslarda sapmalar meydana gelmiştir.



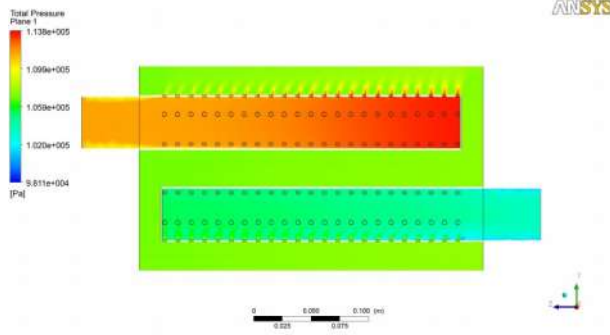
Şekil 26. Model 8, 12 İletim Kaybı (Model 8, 12 Transmission Loss)



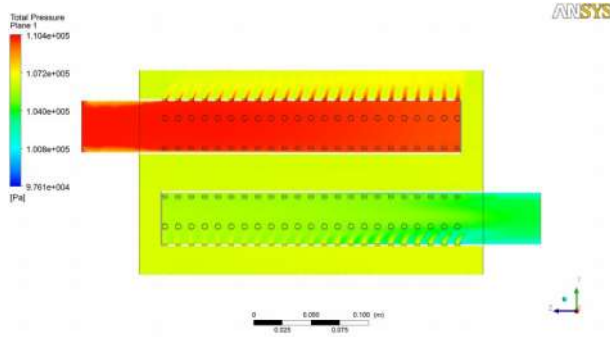
Şekil 27. Model 1, 7 İletim Kaybı (Model 1, 7 Transmission Loss)

Perfore borunun uç kısmının kapalı olması geri basıncı artmasına sebep olmuştur. Bunun sebebi egzoz gazının perfore boru üzerinde bulunan deliklerden tahliye olmaya zorlanmasıdır. Model 7'de 11866,9 Pa, Model 8'de 6960,8 Pa ve Model 9'da 5321,55 Pa geri basınç değeri bulunmuştur. Üç modelde geri basıncın gittikçe düşmesinin sebebi delik çaplarının artmasıyla birlikte açık alan oranının artmasıdır. Model 7'de açık alan oranı 0,9, Model 8'de 1,42 ve Model 9'da ise 2,04'dür. Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi açık olan geri basınca etkisi oldukça fazladır. Susturucu içerisinde giren egzoz gazı perfore üzerindeki delikler vasıtasıyla tahliye edildiği için açık alan oranının artırılması geri basıncı doğrudan etkilemektedir. Susturucu içerisindeki basınç değişimleri incelendiğinde 3 farklı bölge olduğu görülmüştür. Model 7, Model 8 ve Model 9 için basınç değişimleri Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30'da verilmiştir.

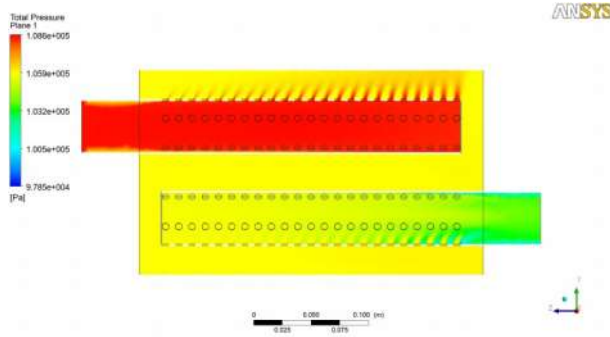




Şekil 28. Model 7 Basınç Değişimleri (Model 7 Pressure Distribution)

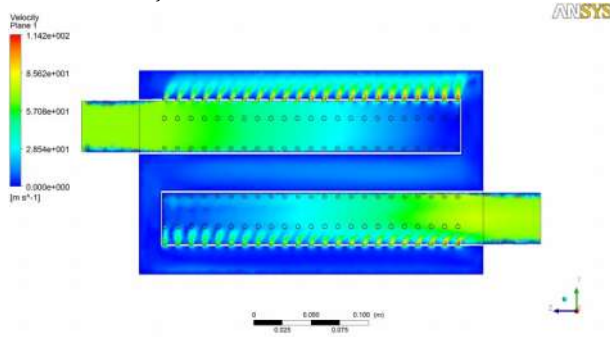


Şekil 29. Model 8 Basınç Değişimleri (Model 8 Pressure Distribution)

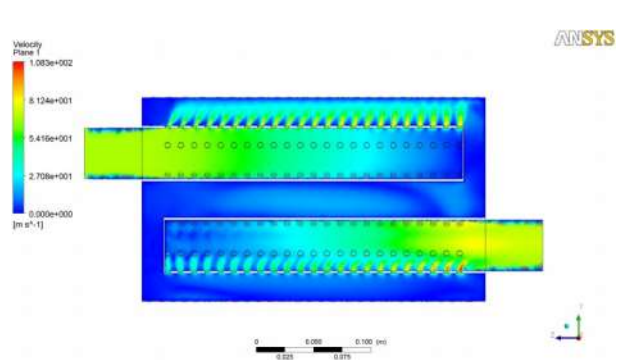


Şekil 30. Model 9 Basınç Değişimleri (Model 9 Pressure Distribution)

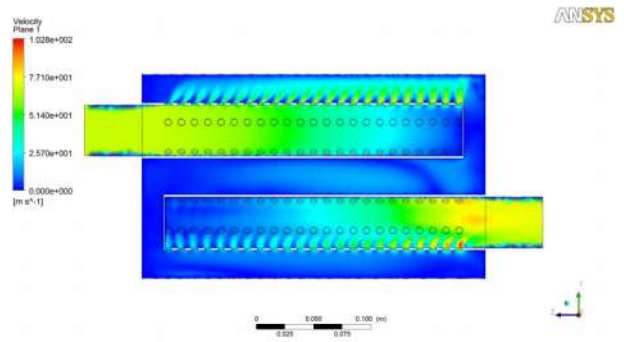
Susturucu içerisindeki hız dağılımları incelendiğinde egzoz gazının perfore deliklerden geçerken en yüksek hıza sahip olduğu görülmektedir. Model 7, Model 8 ve Model 9 için hız değişimleri Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33'de verilmiştir.



Şekil 31. Model 7 Hız Değişimleri (Model 7 Velocity Distribution)



Şekil 32. Model 8 Hız Değişimleri (Model 8 Velocity Distribution)



Şekil 33. Model 9 Hız Değişimleri (Model 9 Velocity Distribution)

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu makalede porozite ve uzatılmış boru etkisinin susturucu akış ve akustiğe olan etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere porozitenin değişmesi akustiği direkt olarak etkilemektedir.

Susturucu iç tasarımı incelenirken bir diğer parametre olan açık alan etkileri de incelenebilir. Açık alan oranı, poroziteye çevrilebilir bir ifade olduğu için yakın sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir. Açık alan oranı daha çok susturucu içerisindeki akışın düzgün olabilmesi için incelenen parametre olduğu için bu çalışmada porozitenin değişimi incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına bakıldığında Model 2'nin (Delik çapı: 5mm, Porozite Oranı: 0.0604, Uzatılmış Boru: 20mm, Tek Taraf, Açık Uç) 4637,6 Pa ile en düşük geri basınca sahip egzoz tasarımı olduğu anlaşılmaktadır. Akustik özellikleri açısından değerlendirildiğinde ise Model 6'nın (Delik çapı: 4mm, Porozite Oranı: 0.03865, Uzatılmış Boru: 60mm, Tek Taraf, Açık Uç) 500-1000 Hz arasında en yüksek iletim kaybına sahip susturucu olduğu tespit edilmiştir. Geri basınç ve iletim kaybı değerleri birlikte değerlendirilirse Model 6'nın her iki durum içinde en iyi sonuç verdiği görülmektedir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] O. Saf, 'Perforasyonlu Susturucuların Akış ve Akustik Etkinliklerinin İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, İTÜ, 2010.
- [2] O. Çetin, 'Susturucularda Basınç Kaybı ve Akustik Performansın İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, İTÜ, 2011.
- [3] S. Kumar, 'Egzoz Susturucuların Lineer Akustik Modellemesi ve Testi', Yüksek Lisans Tezi, Royal Institute of Technology, Sweden, 2007.
- [4] P. Jones, N. Kessissoglou, "An evaluation of current commercial acoustic FEA software for modelling small complex muffler geometries: prediction vs experiment", 2009, Available: [http://www.acoustics.asn.au/conference\\_proceedings/AAS2009/papers/p85.pdf](http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2009/papers/p85.pdf).
- [5] K. S. Andersen, K.S., "Analyzing Muffler Performance Using the Transfer Matrix Method", 2008 Available: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/F2014/MPT/MaterialsforStudents/McMahon/Andersen2008-MufflerPerformance-TMM.pdf>.
- [6] S.D. Pangavhane; A.B. Ubale, V. Tandon, D.R. Pangavhane, "Experimental and CFD Analysis of a Perforated Inner Pipe Muffler for the Prediction of Backpressure", International Journal of Engineering and Technology, Vol. 5, No. 5, p.3940, 2003.
- [7] K. Sileshi, "Performance Evaluation of a Reactive Muffler Using CFD"; Journal of EEA, Vol. 28, pp85-89, 2011.
- [8] J. Fang, Y. Zhou, P. Jiao, Z. Ling, "Study on Pressure Loss for a Muffler Based on CFD and Experiment", ICMTMA '09. International Conference, vol. 3, pp. 887 – 890, 2009..
- [9] [https://www.dieselnet.com/tech/diesel\\_exh.php](https://www.dieselnet.com/tech/diesel_exh.php); Alındığı Tarih 29.01.2015.
- [10] M.A. Temiz, "Rezonatör Tip Susturucuların Akış ve Akustik Etkinliğinin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, İTÜ, 2012.
- [11] COMSOL, Acoustics Module, Industrial Tutorials, Perforated Muffler Tutorial.