

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MEKANİK BİLİM DALI**

**BANYO BATARYALARINDA GEOMETRİK SÜREKSİZLİĞİN  
NEDEN OLDUĞU GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASI**

**Gençay TUĞGAN**

**Danışman  
Doç. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**



**MANİSA-2019**

Gençay  
TUĞGAN

**BANYO BATARYALARINDA GEOMETRİK SÜREKSİZLİĞİN NEDEN  
OLDUĞU GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASI**

**2019**

## TEZ ONAYI

Gençay TUĞGAN tarafından hazırlanan "**Banyo Bataryalarında Geometrik Süreksizliğin Neden Olduğu Gürültünün Azaltılması**" adlı tez çalışması 03/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Doç. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Abdullah SEÇGİN**  
Dokuz Eylül Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Gençay TUĞGAN**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IV
TABLO DİZİNİ.....	VI
TEŞEKKÜR .....	VII
ÖZET .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. AKUSTİĞİN TARİHSEL GELİŞİMİ .....	3
3. TEMEL KAVRAMLAR.....	8
3.1. Ses .....	8
3.2. Akustik.....	8
3.3. Frekans.....	8
3.4. Periyot.....	9
3.5. Dalga Boyu .....	9
3.6. Gürültü.....	10
3.6.1. Gürültü Denetimi.....	11
3.6.2. Gürültünün Sınıflandırılması .....	12
3.6.3. Gürültü Spektrumu .....	13
3.6.4. İşitsel Örtü.....	13
3.7. İç Mekan Akustiği.....	14
3.8. Sesin Yayılması ve Yayılma Hızı .....	14
3.9. Ses Basıncı Ölçümü.....	15
3.10. Doppler Etkisi .....	15
3.11. Matematiksel Temeller.....	16
3.11.1. Dalga Denklemi.....	16
4. TESİSAT VE YAPI ELEMANLARINDA AKUSTİK.....	21
4.1. Yeşil Binalar ve Akustiğin Önemi .....	21
4.2. Banyo Bataryaları.....	22
4.3. Tesisatta Gürültü Oluşması.....	23
4.4. Tesisatta Gürültü Oluşumuna Alınacak Tedbirler .....	25
4.5. Standartlar .....	26
4.6. Sektörel Mevzuatlardan Bazı Tanımlar .....	27
5. BANYO BATARYALARI İÇİN ALTERNATİF DİFÜZÖR TASARIMLARI.....	28
5.1. Difüzör Kullanımının Gerekliliği.....	28
5.2. Bataryalarda Oluşan Gürültünün Sebepleri .....	28
5.3. Difüzör Boyutları.....	33
5.4. Eksantrik Nipel Boyutları .....	34
6. HESAPLAMALI ANALİZ .....	41
6.1. LES Yöntemi (Large Eddy Simulation) .....	41
6.2. Analizlerin Yapılması.....	42
6.3. Eleman Sayısının Çözümüne Etkisi .....	44
6.4. Çözüm Yöntemleri .....	45
6.5. Sınır Koşulları .....	45
6.6. Analiz Sonuçları .....	46
6.6.1. Difüzsüz Geometri.....	46
6.6.2. R0-R0 Difüzörlü Geometri.....	49

6.6.3. R1-R1 Difüzörlü Geometri.....	51
6.6.4. R3-R0 Difüzörlü Geometri.....	53
6.6.5. R3-R3 Difüzörlü Geometri.....	55
6.6.6. R3-R0 Uzun Difüzörlü Geometri .....	57
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	60
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>f</b>	Frekans
<b>D</b>	Çap (m)
<b>dB</b>	Desibel
<b>Hz</b>	Hertz
<b>L<sub>p</sub></b>	Ses basınç seviyesi
<b>L<sub>w</sub></b>	Ses gücü seviyesi
<b>Re</b>	Reynolds Sayısı (boyutsuz)
<b>T</b>	Periyot
<b>V</b>	Akış hızı (m/s)
<b>Å</b>	Angstrom
<b>λ</b>	Dalga Boyu
<b>ρ</b>	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
<b>μ</b>	Dinamik viskozite (kg/ms)
<b>Co</b>	Courant Sayısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Dairesel bir plaka üzerinde Chladni desenleri .....	5
Şekil 3.1. Frekans-dalga boyu ve genlik gösterimi.....	9
Şekil 3.2. Boyuna dalga gösterimi.....	10
Şekil 3.3. Ses basıncı seviyeleri ve çeşitli ses kaynaklarının basınçları .....	11
Şekil 3.4. Gürültü ve ton ses dalgaları .....	11
Şekil 3.5. Gürültü spektrumu örneği.....	13
Şekil 3.6. Ses verimi, ses basıncı, ses basınç seviyesi .....	15
Şekil 3.7. Doppler etkisi.....	15
Şekil 3.8. Gaz kutucuğu .....	16
Şekil 4.1. LEED NC (Yeni Yapılar ve Büyük Onarımlar) kategori yüzdeleri ve akustiğin yeri .....	22
Şekil 4.2. Binalardaki sıhhi tesisat ve gereçlerin en fazla kullanılması esnasında meydana gelebilecek ses seviyeleri .....	24
Şekil 4.3. İşitme sınırları Eğrisi .....	25
Şekil 5.1. Aplike banyo Bataryası .....	31
Şekil 5.2. Banyo bataryası kesiti (difüzörlü).....	31
Şekil 5.3. Banyo bataryası kesiti (difüzörsüz).....	32
Şekil 5.4. Banyo bataryası kesiti (difüzörlü).....	32
Şekil 5.5. Banyo bataryası kesiti (uzun difüzörlü) .....	33
Şekil 5.6. Komple (silikon ve PA) difüzör boyutları.....	33
Şekil 5.7. Difüzör iç parça (silikon) boyutları.....	34
Şekil 5.8. Eksantrik nipel boyutları .....	34
Şekil 5.9. Silikon difüzör, R0-R0 .....	35
Şekil 5.10. Silikon difüzör , R1-R1 .....	36
Şekil 5.11. Silikon difüzör , R3-R0 .....	36
Şekil 5.12. Silikon difüzör , R3-R3 .....	37
Şekil 5.13. Silikon difüzör , R3-R0 uzun.....	37
Şekil 5.14. Eksantrik içerisinde yeni nesil difüzör .....	38
Şekil 5.15. Düzensiz akış oluşturan kesitler.....	39
Şekil 5.16. Düzensiz akışın önleneceği yeni tip difüzörlü akış.....	40
Şekil 6.1. Analizlerde kullanılan ağ yapısı.....	43
Şekil 6.2. Analizlerde kullanılan ağ yapısı (detay).....	43
Şekil 6.3. Eleman sayısının çözüme etkisi .....	44
Şekil 6.4. Difüzörsüz sistem akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	46
Şekil 6.5. Difüzörsüz sistemdeki girdap oluşumları-LES-.....	47
Şekil 6.6. Difüzörsüz sistemdeki girdap oluşumları hız vektörleri-LES- .....	47
Şekil 6.7. Difüzörsüz sistemin akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği .....	48
Şekil 6.8. R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	49
Şekil 6.9. R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES- .....	49
Şekil 6.10. R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES- ...	50
Şekil 6.11. R0-R0 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği .....	50
Şekil 6.12. R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	51
Şekil 6.13. R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES- .....	51
Şekil 6.14. R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES- ...	52
Şekil 6.15. R1-R1 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği .....	52
Şekil 6.16. R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	53
Şekil 6.17. R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES- .....	53



Şekil 6.18. R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES- ...	54
Şekil 6.19. R3-R0 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği .....	54
Şekil 6.20. R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	55
Şekil 6.21. R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES- .....	55
Şekil 6.22. R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES- ...	56
Şekil 6.23. R3-R3 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği .....	56
Şekil 6.24. R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state- .....	57
Şekil 6.25. R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES- .....	57
Şekil 6.26. R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES	58
Şekil 6.27. R3-R0 uzun difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği	58



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. Bazı gürültü değerleri ve etkileri .....	10
Tablo 4.1. DIN 4109 normunda izin verilen ses geçirgenlikleri .....	26
Tablo 4.2. Akustik sınıflandırma tablosu .....	27
Tablo 5.1. Laboratuvar deney sonuçları (dB(A)) .....	28
Tablo 6.1. Geometrilere göre dB(A) değerleri .....	59



## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışma, 1501-Sanayi Araőtırma Teknoloji Geliőtirme ve Yenilik Projeleri Destekleme Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araőtırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir.

Gençay TUĞGAN  
Manisa, 2019



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Banyo Bataryalarında Geometrik Süreksizliğin Neden Olduğu Gürültünün  
Azaltılması**

**Gençay TUĞGAN**

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**

Bu çalışmada, banyo bataryalarında kullanılan susturucu görevi gören difüzörler ele alınmıştır. Halihazırda kullanılmakta olan difüzör tasarımlarında iyileştirmeler yapılarak en uygun akustik değerleri veren geometriye ulaşılmaya çalışılmıştır. Difüzörlerin giriş ve çıkış kısımlarındaki geçiş bölümlerinin geometrisi iyileştirilmiş, akustik değerler üzerinde etkisi olan türbülans azaltılarak akustik değerlerin düşürülmesi sağlanmıştır. Ayrıca yeni bir yaklaşım ile suyun difüzör içerisinde yol aldığı kısmın boyu arttırılmış ve gövdeye doğrudan geçişi sağlanmıştır.

Ortaya konulan alternatif tasarımlar Siemens NX programı kullanılarak elde edilmiş, bu tasarımların hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri ANSYS Fluent paket programı yardımıyla 2 boyutlu LES (Large Eddy Simulation) (Büyük Girdaplı Benzetim) yöntemi ve akustik modülü kullanılarak yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Banyo Bataryası, Armatür, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Akustik, Gürültü, Susturucu, Difüzör**

**2019, 63 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc Thesis**

### **Reducing Noise Caused by Geometric Discontinuity in Bathroom Faucets Gençay TUĞGAN**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**

In this study, mufflers used in bathroom faucets are discussed. Attempts have been made to improve the current muffler designs to reach the geometry that gives the best acoustic values. The geometry of the transition sections of the inlet and outlet of the mufflers has been improved and the turbulence which has an important effect on the acoustic values has been reduced. Besides, with a new approach, the length of the part where the water travels in the diffuser (muffler) has been increased and direct passage into the body has been provided.

Computational fluid dynamics (HAD) analysis of the designs were made with the ANSYS Fluent package program using 2 dimensional LES (Large Eddy Simulation) method and acoustic module.

**Keywords: Bath mixer, faucet, Computational Fluid Dynamics (CFD), Acoustic, Noise, Muffler, Diffuser**

**2019, 63 pages**

## 1. GİRİŞ

Yapılarda kullanılan banyo bataryalarının akustik değerleri konfor açısından önemlidir. Yüksek akustik değerler kullanıcıya rahatsızlık vermektedir. Tasarımlar akustik değerlerin standartlar ile belirlenmiş karşılıkları dikkate alınarak yapılmakta ve bataryalar buna göre üretilmektedir. Bu problemin önlenmesi yani akustik değerlerin düşürülmesi için bazı ürünlerde susturucu vazifesi göre difüzör denilen elemanlar kullanılmaktadır. Difüzör kullanımı özellikle dış piyasa ile yapılan ticarete olmazsa olmaz olarak değerlendirilmektedir. İç piyasada ise rekabet açısından önemli bir unsur olarak karşılaşılmaktadır. Üretimdeki deneyimler göstermektedir ki kullanılan difüzörler genellikle akustik değerlerini düşürse de bazen bu değerleri istenilen seviyelere çekememektedir. Tam bu noktada, tasarlanacak difüzörlerin en uygun (optimum) değerlere ulaşması önemli bir Ar-Ge faaliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan kaynak taramalarında yapı sektöründe banyo bataryaları kaynaklı oluşan akustik problemlerle ilgili bilimsel çalışma sayısının pek fazla sayıda olmadığı görülmüştür. Çeşitli sektörlerde kullanılan elemanlar için boru içi akışa dair çalışmalar oldukça fazladır. İçinde akış olan borular ve egzozlarda kullanılan difüzörlere ait çalışmaların olduğu da görülmüştür. Güden [1], kare kesitli U dirseklerde oluşan türbülansı hesaplamalı ve deneysel olarak ele almış ve bunları karşılaştırıp elde edilen hesaplamalı analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla örtüştüğünü göstermiştir. Boersma [2], kavisli borularda LES (Large Eddy Simulation) yöntemi ile türbülans durumlarını çözümlenmiş ve bulduğu sonuçların yapmış olduğu deneyler ile uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Alber ve arkadaşları [3], boru tesisatları için akış kaynaklı ve yapı kaynaklı olarak oluşan ses gücünü laboratuvar ortamında analiz etmişlerdir.. Dutta ve arkadaşları [4], 90° bükülmüş boru dirseklerinde k-ε modelleri ile yüksek Reynolds sayılarında akış analizleri yapmışlardır. Wim ve arkadaşları [5], difüzörlerde aerodinamik etkilerle oluşan gürültüyü ve gürültünün uzak alan yayılımını iki boyutlu LES yöntemi ile analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada, binalarda kullanılan bataryaların (armatürlerin) en fazla akustik problem yaratan çeşidi olan banyo bataryaları için difüzör tasarımları ele alınmış ve akustik değerleri düşürmek amaçlı tasarım iyileştirmeleri yapılmıştır. Öncelikli olarak

halihazırda kullanılan bir difüzör geometrisi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri elde edilmiş, ardından çıkan sonucun iyileştirilmesi için difüzörde çeşitli geometrik iyileştirmeler yapılmış ve yeni geometriler için elde edilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar tablolarla ve grafiklerle gösterilip en uygun tasarım ortaya konulmuştur.



## 2.AKUSTİĞİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Akustik, milattan önceki yıllardan başlayarak, bilim tarihinin önemli konularından biri olmuştur.

M.Ö. 27.yüzyılda Çinli Lin-Lun müzikle ilgili çalışmalar yapmıştır. Yine M.Ö. 20. yüzyılda diğer bir Çinli filozof Fohi, toprak, su, hava, ateş ve rüzgar elementleriyle birlikte akustik çalışmalar sınıfında değerlendirebilecek çalışmalar yapmıştır.

Sesin yayılımı ve yansımalarının temel yasaları, eski Yunanlılar tarafından anlaşılmış ve yankı olayı birçok klasik eserde belirgin bir şekilde ortaya konulmuştur. Quintillianus, küçük çubuk bölümleriyle havada bir ipin rezonansını göstermiştir. Vitruvius, örnek olarak bir suyun yüzeyindeki dairesel dalgaların yayılmasını inceledikten sonra, gerçek ses dalgalarının üç boyutlu ortamda daireler şeklinde değil olarak değil, dışa doğru küresel olarak yayıldığını açıklamıştır [6].

Eski zamanlarda, sesin, havanın bir miktar etkinliği ile yayıldığı konusunda bir kabul vardı. Aristoteles (MÖ 384-322), havanın gerçekten de bir hareketinin olduğunu ve sıkıştırıldığını ortaya koydu.

Rahip Athanasius Kircher ise sesi bir vakum odasında gözlemleyen ilk kişilerden biriydi ve bu ortamda zil sesini duyabildikten sonra, havanın sesin yayılması için gerekli olmadığı sonucuna vardı [6, 7].

Leonardo Da Vinci (1452-1519) gözlemleri sonucunda, suya atılan bir taş tarafından oluşturulan dalgaların ses dalgalarına benzer bir durum yaratacağı sonucuna vardı. Sesin dalga hareketinin belirli bir hıza sahip olduğunu tespit etti [6].

Erken dönem akustik araştırmalarının bir çoğu müzikal akustik ile ilgiliydi. Galileo Galilei (1564-1642), telin titreşim frekansı, telin uzunluğu, gerginliği ve telin yoğunluğu arasında nicel ilişkiler olduğunu ortaya koydu [6, 8].

Fransız filozof Pierre Gassendi (1582–1655) sesin titreşimli yüzeylerden küçük salınımlarla yayıldığını ve bu salınım yapan parçacıkların havada hareket ederek kulağa temas edip sesi oluşturduğunu iddia etti. 1635 yılının başlarında ateşli silah



kullanarak ses hızını ölçtü ve ışığın hemen iletildiğini gözlemledi. Bulduğu ses hızı 478 m/s idi. Gassendi, yüksek notaların düşük notalardan daha hızlı iletildiğini savunan Aristoteles'in aksine ses hızının ses perdesine bağlı olmadığını buldu [6, 8, 9].

Daha sonraları Marin Mersenne (1588–1648), Gassendi'nin belirlediği ses hızını 450 m/s olarak yeniledi. Mersenne belirli bir perdeye karşılık gelen frekansı belirleyen ilk kişidir. Uzun bir ip yardımıyla, ipin uzunluğu, kütlesi ve gerginliği üzerindeki durgun bir dalganın frekansını belirlemiştir. Daha sonra çekme etkisi altında bulunan kısa bir ip kullanarak salınım frekansını hesaplamıştır [6, 8, 9].

Joseph Sauveur (1653–1713) ise konu ile ilgili daha ayrıntılı frekans çalışmalarında bulundu. Sauveur, ses bilimi için "akustik" terimini Yunanca duymak anlamına gelen "akuoiein" kelimesinden alıp öneren bilim adamıdır. Ayrıca Paris'teki College Royal'de müzik fiziği üzerine yaptığı araştırmayı açıklarken, temel harmonikler, düğüm ve ventral segment gibi terimleri açıkladı. İlginç bir bilgi olarak belirtilebilir ki; Sauveur, işitme ve konuşma mekanizması engellerine sahipti, hatta 7 yaşına kadar sağır ve dilsiz idi. Akustik deneyler konusunda asistanlarının yardımıyla ilerliyordu. Müziğe büyük ilgi duymuştu [6, 7].

1660 yılında Robert Boyle (1626–1691) yaptığı vakum pompası deneyleri neticesinde; hava dışarı pompalanırken vakum odasında çalışan saatten yayılan seste azalma olduğunu gördü. Havanın sesin alabileceği tek yol olmasa dahi ses aktarım aracı olduğu sonucuna vardı [6, 8].

Sir Isaac Newton (1642–1726), su yüzeyindeki dalgalar ile sesin iletimini karşılaştırdı. Newton yaptığı çalışmalarla 15°C derece için ses hızını 288 m/s olarak tahmin etmişti ancak sonraki süreçte bu değerdeki ses hızı deneysel olarak 340 m/s bulundu. Newton'un ifadesinde %16'lık bir hata payı olduğu anlaşılmıştır [6, 8].

Ernst F.F. Chladni (1756-1827) ise "Die Akustik" adlı eserin yazarıdır. Titreşen çubuklar, rezonans boruları yardımıyla burkulma titreşimleri ve ses hızının ölçülmesi deneyleriyle akustik alanında tanınır. Onun çalışmalarına kadar rezonatörler ana enstrüman olarak akustik çalışmalarda kullanılmamıştı. Chladni, düğüm çizgileri göstermek için titreşimli plakalara serpilmiş kum yöntemini ortaya

koymuştur. Dairesel plakayı kumla kaplayıp, keman yayı ile bu plakayı titreştirdiğinde şekil 2.1'deki şekillerin oluştuğunu görmüştür. Şekil 2.1'e göre ilk dört dairenin sırasıyla iki, üç, dört ve beş nodal çizgilerinin olduğu görülmektedir, ancak nodal çemberleri yoktur; ikinci grup dört dairede ise Lord Rayleigh'ın "Chladni Yasası" olarak adlandırdığı durum görülmektedir, burada bir ya da iki nodal çember bulunmaktadır [7].



**Şekil 2.1.** Dairesel bir plaka üzerinde Chladni desenleri [7]

Fransız bir fizikçi olan J. B. Biot, 1808 yılında Paris'teki 1000 m uzunluğunda bir demir su borusundaki ses hızını ölçtü. Metalin içindeki ve havadaki ses hızlarını karşılaştırdı ve metalde ses hızının çok daha yüksek olduğunu belirledi. Chladni de katılarda ses hızını çalışmıştı. Kalaydaki ses hızının havadakinden yaklaşık 7,5 kat daha fazla, bakırda ise yaklaşık 12 kat daha fazla olduğunu buldu . Biot'un değerleri Chladni'nin değerleri ile örtüşüyordu [6, 7, 10].

İlk akustik aletlerden birisi Rene Laennec (1819) tarafından geliştirilmiş olan stetoskoptur. Stetoskobu klinik çalışmalarda kullanmıştır [8].

Sir Charles Wheatstone (1827) ise stetoskoba benzer bir cihaz geliştirmiştir ve bu cihazı mikrofon olarak adlandırmıştır. 1920'li yıllarda ilk radyo yayıncılığının gelişmesinin neticesinde, elektrikli mikrofon ve hoparlörlerin üretimine başlandı. Bu gelişmelerden sonra ses basınç seviyelerini ve farkı akustik niceliklerini insan kulağından daha hassas olarak ölçebilen cihazların üretimine geçildi [8].

Alman fizyolog ve fizikçi olan Hermann von Helmholtz (1860), ilk ciddi akustik yayını olan "On Combination Tones"u 1856'da, "On Sensations of Tone" isimli kitabını ise 1862 yılında yayınladı. Helmholtz, belirli harmoniklerin tespiti için rezonatörler kullanınca, akustikçiler buna ilgi gösterdiler. Alman fizikçi George Ohm'un 1855 yılındaki duyma teorisini kabul eden Helmholtz, her sesin basit

sinüsoidal formun kısmi tonlarından oluştuğu inancını sağlamlaştırdı. Ohm'un insan kulağının her sesin basit tonlarda analiz edilebildiğine dair teorisinden esinlenen Helmholtz, insan kulağında çalışan rezonatörlerin titreşen hareketleri ile işitme mekanizması hakkında bazı ipuçlarını ortaya koydu [7, 10].

Lord Rayleigh (1845-1919), akustik denilince akla gelen ilk isimlerden birisidir. Yazmış olduğu iki ciltlik "Theory of Sound" kitabı her akustikçinin temel kitabıdır. Birinci cildinde mekanik titreşimler, çubuk (bar), membran ve düzlemlerin (plak) salınımı hakkında bilgiler mevcut iken, kitabın ikinci cildinde sıvılardaki dalgaların yayılımı ve akustikten bahsedilmektedir. Bu kitapta sesin üretimi ve yayılımı ile ilgili konular detaylı olarak ele alınmaktadır. Rayleigh'in bu kitabın haricinde akustik konusunda bir çok yayını vardır. Argon gazının keşfinde oynadığı rol ile 1904 yılında Nobel fizik ödülünü almıştır. Rezonatörler, Rayleigh'in da ilk akustik çalışmalarında kullandığı araçtı. Helmholtz'un yaptığı gibi kısmi tonların analizi için rezonatörleri kullandı. Rezonatörler Rayleigh'in kariyeri boyunca farklı rollerle donatılmaya başlandı. Theory of Sound kitabından önce Rayleigh, rezonans teorisi ile ilgili bir yayın çıkardı. Rayleigh'in bu yayınının ve rezonatör ile ilgili çalışmalarının ilham kaynağı Helmholtz'un "On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music" kitabı oldu.

Rayleigh, deneysel çalışmaları teori ile çok başarılı bir şekilde birleştirdi. Bir ses kaynağının yoğunluğunu belirlemek için bir yola ihtiyaç duyarak, günümüzde de kullanılmakta olan "Rayleigh Diski" olarak bilinen ölçüm sistemini geliştirmiştir.

Kendi adını taşıyan başka bir akustik fenomen, Rayleigh dalgalarıdır. Rayleigh dalgası elastik bir yüzeyde yayılır, hem büyük hem de küçük ölçeklerde gözlenebilir. Deprem sarsıntılarında etkin dalgalardır [6, 7, 8, 9, 11].

İskoç bilim adamı Alexander Graham Bell (1847–1922), İskoçya'da müzik dersleri veriyordu. 1871 yılında işitme engelli insanlara öğretmenlik yapmak amacıyla Boston'a taşındı. Boş zamanlarında, iki veya daha fazla elektrik sinyalini aynı kablo üzerinde iletebilecek olan harmonik telgraf cihazı üzerinde çalışıyordu. Graham Bell hayatı boyunca kendisini mikrofona ve 1876 yılında şu an telefon diye adlandırdığımız elektrikli konuşma cihazını icat etmeye yönlendiren işitme engelli insanların eğitimine adadı. Desibel tanımı yapılırken kendisinin isminden ilham alınmıştır [7].

John Tyndall, 1867 yılında “On Sound” isimli kitabı ile akustik literatürüne katkıda bulunan isimlerdendir. Sisin atmosferdeki ses iletimi üzerine etkisi konusundaki çalışmaları bulunmaktadır. Ayrıca 1873 yılında Dover Boğazı’nda farklı hava koşullarında su üzerinden sesin yayılımı ile ilgili sistematik çalışmalar yapmıştır ve yayılımdaki büyük kararsızlıkları ortaya koymuştur [7].

Thomas Edison (1847–1931), 1877 yılında fonografi (konuşan makine), icat ettiğinde, o zamana kadar sesleri kaydedip çoğaltabilmenin başka bir yolu yoktu. Bir telgraf vericisinin verimliliğini arttırmaya çalışırken, Edison, bu tip bir makineden çıkan gürültünün yüksek hızda çalışırken konuşulan kelimelere benzediğini belirtti. Bu olay herhangi bir telefon mesajının kaydedilebilir ya da kaydedilemez olduğunu sorgulattı. Yaptığı çalışmalar neticesinde “Mary'nin küçük bir kuzusu vardı.” adlı bir mesajı kaydetmeyi başardı [6].

Cambridge Üniversitesi’nde Newton tarafından da sahip olunan Lucas profesörlüğü ünvanlı Sir James Lighthill (1924-1998), Lord Rayleigh’ın önceki araştırmalarını da temel alan modern aeroakustik çalışmalar yapmıştır. Türbülanslı ortamda meydana gelen seslerin, nonlinear akustik araştırmasında büyük öneme sahip olduğunu belirlemiştir. Dört kutuplu ses kaynaklarını jet uçak motorlarından çıkan gürültünün ana kaynağı olarak tespit etmiştir. 1952 yılında yaptığı çalışmalarda; bir valf ile taşınan gazdan kaynaklanan aerodinamik akış gürültüsünün, akışkanın yavaşlaması, genişmesi, sıkışması gibi durumlardan kaynaklandığını ortaya koymuştur [6, 7, 8].

Akustik doğu biliminde de bazı önemli çalışmalara konu olmuştur. Ebu Bekir Zekeriya er-Razi ile başlatılan, sonrasında da hastaların tedavisi için hastanelerin mimarisinin akustik olarak iyi tasarlanması ile devam eden çalışmalar yapılmıştır.

### **3. TEMEL KAVRAMLAR**

Bu bölümde akustiğe ait temel kavramlar verilecektir.

#### **3.1.Ses**

Serbest veya kapalı bir hava ortamında, katıda veya sıvıda yayılan ve işitme organları tarafından algılanabilen basınç dalgalarıdır. Ses genel bir terimdir. Belli bir frekanstan ve onun uyumlularından (harmoniklerinden) oluşan ve bir nota ile belirlenebilen sesler de (müzik sesleri gibi), uyumsuz pek çok frekanstan oluşan gürültüler de bu tanıma girer.

Ses, insan kulağını etkileyerek işitme duyusu oluşturan hava molekülleri titreşimleri, bunların neden olduğu ufak hava basınç değişimleri gibi, ya da bu fiziksel olayın neden olduğu işitsel izlenim gibi tanımlanır [12, 13].

#### **3.2 Akustik**

Akustik ses bilimidir. Ses dalgaları evren kadar eski olsa bile, ses ile ilgili bilimsel çalışmaların genel olarak kökeninin antik yunan dönemine dayandığı düşünülmektedir. Akustik, açık alan, kapalı alan, boru ve boru gibi bir çok ortamda sesin yayılımı ile ilgilenir.

#### **3.3. Frekans**

Bir ortam içerisinde sesi meydana getiren titreşimlerin birim zamanda tekrarlanan sayısına frekans denir. Frekans (f) sembolü ile gösterilir ve birimi Hertz (Hz)'tir . 1 Hz, saniyede 1 titreşim (tam salınım) anlamına gelir.

Frekansı ortalama olarak 20 Hz-20000 Hz arasında kalan titreşimler insanlarda işitme duyulanması doğurur. Diğer canlılarda işitme eşiği için frekans aralıkları daha farklıdır.

Frekansı 20 Hz'in altındaki titreşimlere ses altı titreşimler, 20 kHz'in üzerindeki titreşimlere ise ses üstü titreşimler denir.

İşitme eşiği için frekans sınırları bireyin yaşına ve kulak hassasiyetine göre değişir. İşitme alanının özellikle üst sınırı önemli çeşitlilik ve sapmalar gösterir. Bu sınır genellikle 20000 Hz civarındadır. Makinelerde gürültü ile mücadelede genellikle 50 ile 10000 Hz arasındaki alanla yetinilir. Hacim akustiği ile ilgili sorunlar 60 ile

8000 Hz arasında ele alınır. Yapı elemanlarının ses yalıtımı konusunda çoğunlukla 100 Hz ile 3150 Hz'in sınırlandırıldığı frekans alanı önem taşır.

Ses frekansının değişimi, işitmede sesin incilmesi ve kalınlaşması şeklinde duyulur. Seslerin kulak tarafından ayırt edilmesinin en önemli unsuru frekanslarıdır.

Akustikte;

16-100 Hz frekanslı sesler çok kalın

100-400 Hz frekanslı sesler kalın

400-1600 Hz frekanslı sesler orta kalın

1600-3150 Hz frekanslı sesler ince

3150-16000 Hz frekanslı sesler çok ince olarak tanımlanır [6, 12, 14, 15].

### 3.4. Periyot

Bir dalganın bir noktadan tamamen geçmesi için geçen süredir. Periyot T harfi ile gösterilir.

Frekans ile periyot arasındaki ilişki [6, 16, 17, 13]:

$$f = \frac{1}{T}$$

olarak verilir.

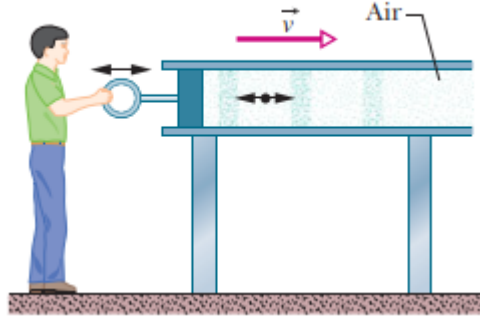
### 3.5. Dalga Boyu

Ardışık dalgaların özdeş noktaları arasındaki mesafedir. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi iki tepe noktası arası mesafe dalga boyu olarak tanımlanmıştır.  $\lambda$  ile gösterilir. Birimi metredir. Angström olarak da kullanılmaktadır. Å olarak gösterilir.  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ 'dir.



Şekil 3.1. Frekans-dalga boyu ve genlik gösterimi

Şekil 3.2’de gösterildiği üzere hava ile dolu bir borunun girişindeki piston, ileriye ve geriye hareket ettirerek boru içerisinde bir ses dalgası oluşturulmuş olur. Hava elemanının (Şekil 3.2’de boru içindeki siyah nokta ile gösterilmiş) salınımları dalga yönüne paraleldir. Bu dalga boyuna bir dalgadır [6,14].



Şekil 3.2. Boyuna dalga gösterimi [14]

Tablo 3.1. Bazı gürültü değerleri ve etkileri

Duyuma eşiği	→	0 dBA	
Sesin algılanma eşiği	→	10 dBA	
Yaprak hışırtısı	→	20 dBA	
Fısıltılı konuşma	→	30 dBA	
Sessiz alan	→	40 dBA	→ sessiz ortam
Kuş cıvıltıları (15m uzakta)	→	50 dBA	→ 2 Kat gürültülü
Normal konuşma (1 m)	→	60 dBA	→ 4 Kat gürültülü
Yük treni (30 m uzakta)	→	70 dBA	→ 8 Kat Gürültülü
Çalar saat zili	→	80 dBA	→ 16 Kat Gürültülü
Çocuk çığlığı	→	90 dBA	→ 32 Kat Gürültülü



Şekil 3.3. Ses basıncı seviyeleri ve çeşitli ses kaynaklarının basınçları

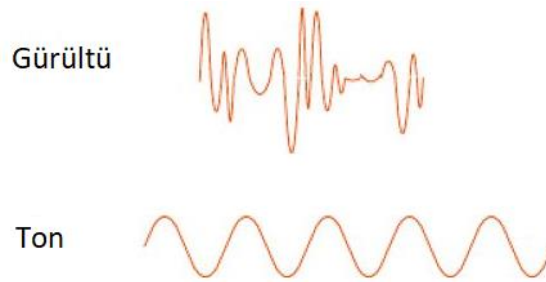
### 3.6. Gürültü:

Fizik tanıma göre gürültü, aralarında herhangi bir uyum olmayan pek çok frekanstan oluşan sese verilen addır. Bir başka anlatımla, gürültü tek bir nota ile taklit edilemeyen sestir. Örneğin trafik, rüzgar, yağmur, pazar yeri gürültüleri gibi.

Gürültü , istenmeyen ya da rahatsızlık veren ses olarak da tanımlanabilir. Bu yönden bakarsak herhangi uyumlu notalardan oluşan müzik sesi bile, o an telefon ile konuşan birisi için gürültü niteliği taşıyabilir [12, 13].

Gürültü, sağlığa zararlı olabilecek düzeyde de olabilir, zarar vermeyecek düzeyde de olabilir. Sağlığa zarar vermeyecek düzeyde olsa bile, rahatsızlık verdiği için dolayı engellenmeli ya da şiddeti azaltılmalıdır [18].

Ton, kulağa sabit gelen, sinüzoidal titreşimlerin oluşturduğu titreşimlerdir.



Şekil 3.4. Gürültü ve ton ses dalgaları

#### 3.6.1. Gürültü Denetimi

Gürültü denetimi, alınan çok çeşitli önlemler ile gürültünün, kabul edilebilir, yani insanlar için zarar ya da rahatsızlık vermeyecek düzeylere indirilmesi işidir.



Bunun için önce gürültünün tüm özelliklerinin ölçmelerle belirlenmesi, yayılma yollarının saptanması, sonra da alınacak önlemlerin buna göre belirlenmesi gerekir.

Gürültü, düzeyi ve süresi bakımından günlük dozu aşarsa, vereceği zarar birikimsel olduğundan, insan organizmasında yıllar sonra ortaya çıkan ve giderilmesi olanaksız çok çeşitli bozukluklara neden olur. Bu sebepten dolayı, gerek iç gerek dış mekanlarda gürültü denetimi büyük önem taşır.

Gürültü denetimi çok yönlü, zor ve masraflı bir iştir. Bu nedenle uygulama yapan pratisyenlerce değil, akustik uzmanlarınca ele alınması ve gürültü denetim planına göre çalışılması gerekir [12, 13].

İnsanları gürültüden koruma adına alınacak tüm önlemlere gürültü kontrolü denir. Gürültü kontrolü genel olarak 3 şekilde sağlanabilir:

- 1- Kaynağında azaltılmalıdır.
- 2- Yayılma alanında azaltılmalıdır (kaynak ile alıcı arasında).
- 3- Algılandığı bölgede azaltılmalıdır (alıcıda) [16, 18].

### **3.6.2. Gürültünün Sınıflandırılması**

Gürültü;

- Frekans dağılımına (spektrumuna),
- Ses düzeyinin zamanla değişme şekline, göre iki temel sınıfa ayrılır.

Frekans dağılımına göre iki tip gürültü vardır:

1. Geniş bant gürültü: Harmonik bileşenlerin frekanslarından oluşan gürültü geniş bir aralıktadır. Yani gürültünün frekans dağılımı frekans eksenine yayılmış haldedir, herhangi bir frekans bandında birikmemiştir.
2. Dar bant gürültü: Frekans dağılımı belli bir frekans bandında toplanır.

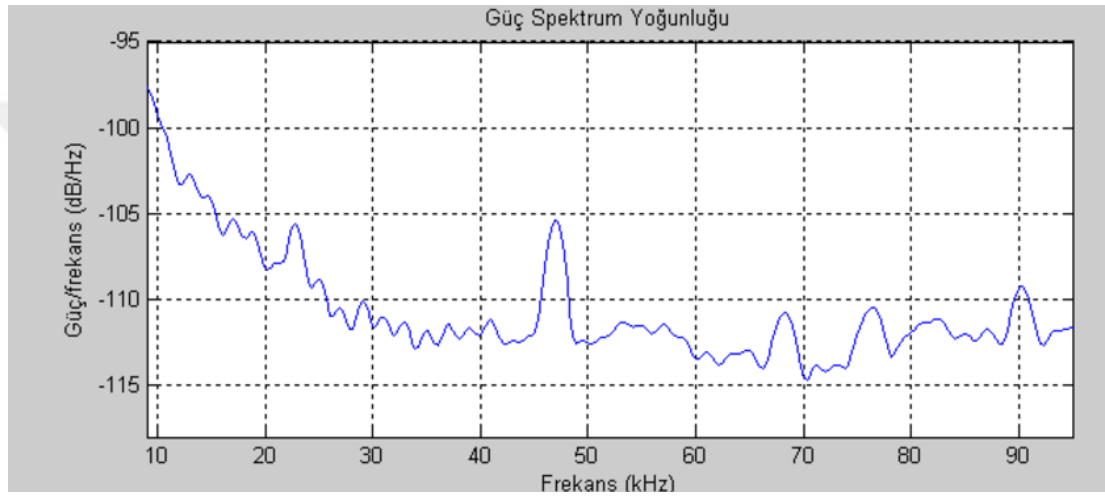
Ses düzeyinin zamanla değişimine bakacak olursak yine iki tür gürültü ile karşılaşırız:

1. Kararlı gürültü: Gürültü düzeyi zamanla değişkenlik göstermez.
2. Kararsız gürültü: Gürültü düzeyinde zamanla değişim gözlenir [16, 18].

### 3.6.3. Gürültü Spektrumu (Yayılmı)

Bir sesin frekans yapısını gösteren grafiğe, gürültü (ya da ses) spektrumu denir. Şekil 3.5'te gösterilen grafiğin yatay eksenini Hz cinsinden frekansları, dişey eksenini dB cinsinden ses basınç düzeyini gösterir. Müzik seslerinin yayılımı, yatay eksene dik doğrulardan, gürültü yayılımı ise sürekli eğrilerden oluşur.

Bir gürültünün spektrumuna bakıldığı zaman o gürültü içerisinde güçlü frekans bölgelerinin, ya da gürültüye karışmış müzik seslerinin, yani bazı baskın frekansların varlıkları anlaşılır [13, 16].



Şekil 3.5. Gürültü spektrumu örneği

### 3.6.4. İşitsel Örtü

Gece ve gündüz fark edilebilen ve/veya fark edilemeyen sesler mevcuttur. Gündüz şehir gürültüsünden fark edemediğimiz aynı şiddetteki bir sesi gece rahatlıkla fark edebiliriz.

Belli şiddetteki bir sesin algılanabilmesi için, bu sesin fon gürültüsünün yaklaşık 3 dB üzerinde olması gerekir. Fon gürültüsünün, kimi seslerin algılanmasını engelleyen bu özelliğine işitsel örtü denir. İşitsel örtü oluşumu, örten ve örtülen seslerin spektrumları ile değişir. Daha önce verilen 3 dB şiddet değeri genel bir ortalama dır ve yaklaşık bir değerdir.

Geceleri fon gürültüsünün azalması ile birlikte alçalan işitsel örtü, kimi seslerin altına iner, yani bu sesleri örtemez olur, ve gündüz fark edemediğimiz bu sesleri, gece işitebilir hale geliriz [13].

### 3.7. İç Mekan Akustiği

İç mekan akustiğinin içerisinde, hacim akustiği ve yapı akustiği olarak sesin iyi aktarılması ya da gürültünün azaltılması yönünde çalışılan iki konu mevcuttur.

Hacim akustiğinde, iyi işitme şartlarının, duygu aktarımının dinleyici ya da izleyicilere iyi aktarılması ile meşgul olunurken, yapı akustiğinde insanı rahatsız edebilecek gürültünün engellenmesi ya da azaltılması ile ilgilenilir.

Bu bahsedilen çalışmalar sonunda akustik kusurları giderilmiş ve akustik açıdan kullanım amacına uygun duruma getirilmiş bir iç mekan elde edilir [12, 13].

### 3.8. Sesin Yayılması ve Yayılma Hızı

Sesin havadaki yayılma hızı, havanın sıcaklığı ve nem oranı ile küçük oranda değişiklikler gösterir. Normal değerler temel alınacak olursa bu hız yaklaşık olarak saniyede 344 metredir.

$$c=331,45 + 0,607 \theta \text{ m/s}$$

$$\theta : ^\circ\text{C}$$

Hava sıcaklığı 21 °C olduğunda ses hızı yaklaşık olarak;

$$c=344 \text{ m/s} \text{ olmaktadır [19].}$$

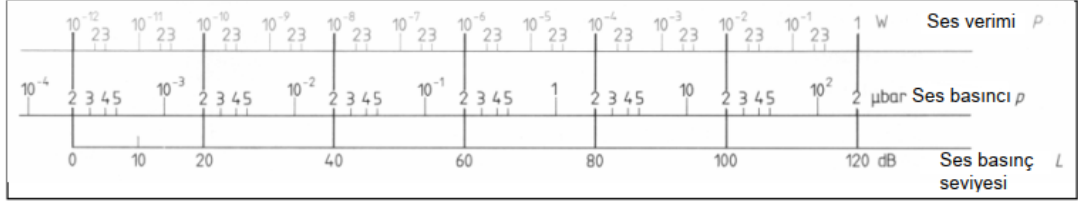
Sesin bazı ortamlardaki yayılma hızları:

Suda	1450 m/s
Sert kauçukta	1900 m/s
Betonda	4000 m/s
Pirinçte	4700 m/s
Çelikte	5000 m/s

Bu değerlerden anlaşılacağı üzere, sesin katılarda yayılma hızı, sudaki ve havadaki yayılma hızından daha yüksektir. Sesin yayılma hızının, ses basınç düzeyi ile, bu düzeyin uzaklıkla azalışı ile ve ses geçiş kaybı ile bir ilgisi yoktur [13, 18].

### 3.9. Ses Basıncı Ölçümü

Ses basıncı logaritmik ölçekle ölçülmektedir. Ses basınç seviyesi  $L_p$  ile gösterilir. Değeri dB'dir.

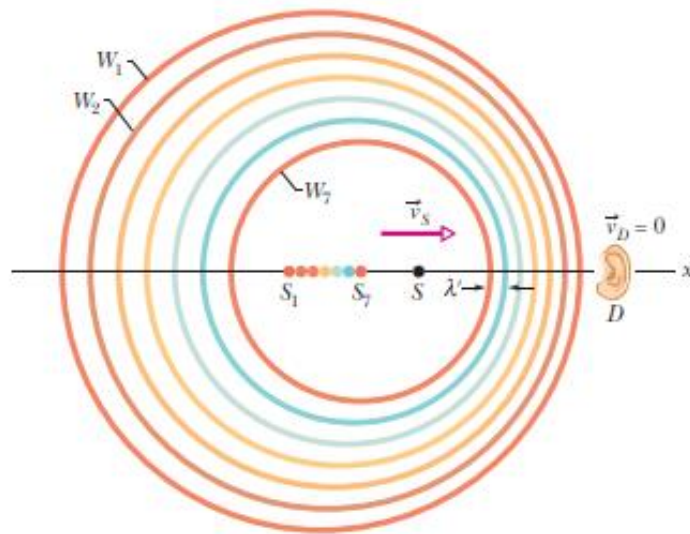


Şekil 3.6. Ses verimi, ses basıncı, ses basınç seviyesi [20]

Duyuma başlangıç basıncı 1000 Hz frekans değerinde;  $2 \times 10^{-4}$   $\mu\text{bar}$ , yani 0 dB seviyesidir. Ağrı başlangıç seviyesi ise  $2 \times 10^2$   $\mu\text{bar}$ , yani 120 dB'dir. Ses basıncının her 10 dB değerindeki artışı, sesin 2 kat arttığı anlamına gelir. Örnek verecek olursak; 80 dB, 40 dB' göre 2 kat değil, 8 kat daha seslidir [20].

### 3.10. Doppler Etkisi

Ses kaynağı ve alıcı (dinleyici) birbirlerinin konumuna göre hareket halinde iseler, alıcının algıladığı sesin frekansı, sesin normal frekansından farklı olacaktır. Bu olaya Doppler etkisi denir. Ses alıcıya yaklaşıyorsa sesin frekansı artacak ve ses, alıcıya daha tiz gelecektir. Eğer ses alıcıdan uzaklaşıyorsa sesin frekansı düşecek ve ses, alıcı tarafından daha kalın olarak algılanacaktır [14, 15, 21].



Şekil 3.7. Doppler etkisi [14]

Şekil 3.7’de;  $S$  kaynağı  $v_s$  hızı ile alıcıya doğru hareket etmektedir. Alıcı kaynak kendisine doğru yaklaştığı için daha yüksek frekansta sesi algılar [14].

### 3.11. Matematiksel Temeller

#### 3.11.1. Dalga Denklemi

Bir cisim, hava içerisinde herhangi bir yerde hareket ediyorsa, hava içerisinde oluşan bir çalkantı gözlemlenir. Bu cisim yavaşça hareket ettirilirse, hava sadece bu cisim etrafında akar. Ancak burada ilgilenilecek durum hızlı bir harekettir. Hareketle birlikte, hava sıkışır ve basınçta değişim gözlenir, bu da yakındaki havayı iter. Bu sefer de hava sıkışır, fazladan bir basınç oluşur ve dalga yayılması gerçekleşir.

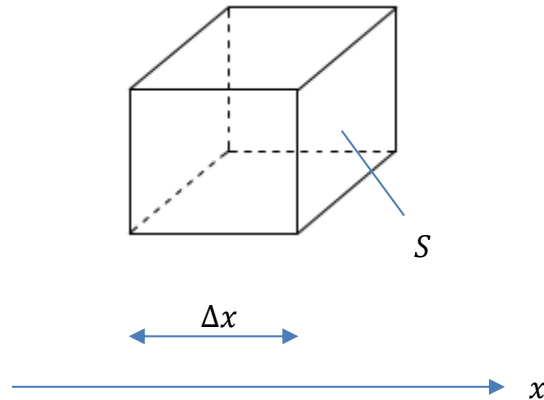
Burada dalga bir boyutta ele alınacaktır.

Ses dalgaları fiziğin aşağıdaki özelliklerini kapsar:

- Gaz hareket eder ve yoğunluk değişir.
- Yoğunluktaki bu değişim, basınçta değişim meydana getirir.
- Basınç eşitsizlikleri gaz hareketini sağlar [22].

Dalga denkleminin çıkarılması [19] :

Ses alanında ses basıncı soldan sağa doğru sürekli olarak arttığı bir ortamda, şekil 3.9’daki gibi bir gaz kutucuğu ele alınsın.



Şekil: 3.8. Gaz kutucuğu [19]

Şekil 3.9'daki kutucuğun her iki tarafından da kutucuğa etki eden kuvvetin;

$$S \left( \frac{\partial p}{\partial x} \Delta x \right) \quad (3.1)$$

olduğu görülür.  $p$  bir metrekareye etkiyen kuvvettir.  $\Delta x$  kutucuğun  $x$  doğrultusundaki metre cinsinden uzunluğudur.  $S$ ,  $x$  uzunluğuna dik bir yüzey olup metrekare ile ifade edilir.

Ok ile gösterilen doğrultuda basıncın artması kutucuğun aksi yönde hareketine neden olacaktır. Newton yasasına göre kuvvet, momentumdaki değişime eşit olduğunda;

$$-\frac{\partial p}{\partial x} \Delta x S = (S \Delta x) \frac{\partial(\rho V)}{\partial t} \text{ olur.} \quad (3.2)$$

Burada  $V$ , gazın hızıdır. Birimi  $\frac{m}{s}$  'dir.  $\rho$  ise  $\frac{kg}{m^3}$  cinsinden yoğunluğudur.

$$\frac{\partial(\rho V)}{\partial x} = \rho \frac{\partial(V)}{\partial t} + V \frac{\partial(\rho)}{\partial t} \text{ Eğer } \rho \text{ 'daki değişim çok küçük ise } V \frac{\partial \rho}{\partial t} \text{ terimi ihmal edilebilir.}$$

Bu durumda;

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \frac{\partial V}{\partial t} \text{ olur.} \quad (3.3)$$

İdeal gaz kanunları kutucuktaki gaza uygulanırsa;

$$pv = nRT \quad (3.4)$$

Burada  $p$ , gaz kutucuğundaki basınç,  $v$  ise kutucuğun hacmi temsil eder.  $R$  gaz sabiti olup,  $n$  mol sayısını ifade etmektedir.

Dalga içerisinde sıcaklık derecesi değişimi düşük değerli olması sebebi ile ihmal edilebilir.

Bu tip gazlara adyabatik gaz tipi denir. Adyabatik dönüşüme ait denklem aşağıdaki gibidir.

$$pv^\gamma = C = \text{sabit} \quad (3.6)$$

Burada  $\gamma$  gazın sabit basınçtaki özgül ısısının sabit hacimdeki özgül ısısına oranına eşittir.

3.6 denkleminin diferansiyeli alınır;

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dv}{v} \text{ olur.} \quad (3.7)$$

$$P = P + dp = p_e + \mathbf{p} \quad (3.8)$$

$$v = v_0 + dv \quad (3.9)$$

Burada  $v_0$ ,  $p_0$  normal hacim ve basınçtır.  $\mathbf{p}$  ve  $dv$  de artan basınç ve hacimdir.

$$\frac{\mathbf{p}}{p_0} = -\gamma \frac{dv}{v_0} \quad (3.10)$$

$$\left(\frac{dp}{p_0} + \mathbf{p} = -\gamma \frac{dv}{v_0} + dv\right) \quad (3.11)$$

$$\mathbf{p} < p_0 \text{ ve } dv < v_0$$

$v$  hacminden çıkan gaz kütlesi sabit olduğu için;

$$\rho v = \text{sabit}$$

yazılır.

$$\rho dv = -v d\rho \quad (3.12)$$

3.8'de yerine yazılırsa;

$$\frac{\mathbf{p}}{p_0} = \gamma d \frac{v}{v_0} \quad (3.13)$$

gaz denklemleri elde edilir. Kutucuğun sol yüzeyinden giren saniyedeki gaz kütlesi ile sağ taraftaki yüzeyden çıkan saniyedeki gaz kütlesi arasında oluşan fark kutucuk hacminin artmasına neden olur. Kutudaki bir noktadan ortama yayılan gaz kütlesi;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v S)$$

olduğundan kutucuk hacmindeki gazın artması;

$$\frac{\partial}{\partial x}(vS)\Delta x \quad (3.14)$$

Kütlenin korunumu kanununa göre 3.14 ifadesi kutu hacmindeki gaz kütlesinin değişme miktarına eşit olmalıdır.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho vS)\Delta x = -\frac{\partial}{\partial t}(\rho S \Delta x) \quad (3.15)$$

Sabit terimler ihmal edilirse;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.16)$$

olur. Buradan,  $v$ ,  $\frac{\partial p}{\partial x}$  ve  $d\rho$ ,  $\frac{\partial v}{\partial x}$  ihmal edilirse;

$$\rho_0 \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.17)$$

bulunur.

3.3, 3.13 ve 3.16 nolu denklemlerden;

$$\frac{p}{p_0} = \gamma d \frac{\rho}{\rho_0} \quad (3.18)$$

$p = p_0 + dp$ ,  $x$  ve  $t$  değişkenlerine göre türev alınırsa;

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} = \left(\gamma \frac{p_0}{\rho_0}\right) \frac{\partial^2 (d\rho)}{\partial x \partial t} \quad (3.19)$$

3.17 nolu denklemin  $x$ 'e göre türevi;

$$\rho_0 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 (dp)}{\partial x \partial t} \quad (3.20)$$



3.20 denklemini 3.19'da yerine koyarsak;

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} = -\gamma p_0 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \quad (3.21)$$

3.3 denkleminin t'ye göre türevi;

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} = -p_0 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (3.22)$$

3.21 ve 3.22 denklemlerini eşitlersek hıza göre dalga denklemini;

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (3.23)$$

Burada;

$$c^2 = \gamma \frac{p_0}{\rho_0} \quad (3.24)$$

Buradan basınca göre dalga denklemini aşağıdaki şekilde elde edilir [19] :

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3.25)$$

## 4.TESİSAT VE YAPI ELEMANLARINDA AKUSTİK

### 4.1. Yeşil Binalar ve Akustiğin Önemi

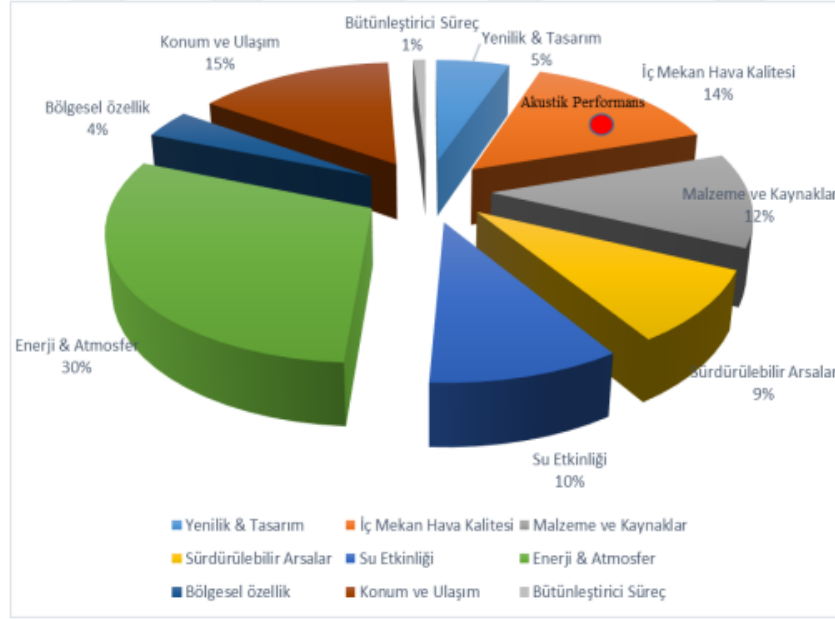
İlk defa 1972 yılında Stockholm’de, İnsan Çevresine Dair Konferans’da ortaya çıkan sürdürülebilirlik tanımı, günümüzde popülaritesini arttırmış, hemen hemen her alanda karşımıza çıkabilen bir terim olmuştur.

Yeşil bina; daha az su, daha az elektrik, daha az enerji tüketimi olan, emisyon oranları düşük, doğaya ve çevreye daha saygılı olan binalardır.

Sürdürülebilirlik kavramı kapsamında, farklı alanlarda olduğu gibi binalarda da sürdürülebilirlik kavramı “yeşil binalar” tanımı ile karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de yeşil bina kavramına önem verilmesi sebebiyle bu sınıftaki binalarda gürültü kavramı da bir parametre olarak belirmektedir. Gürültü problemine karşı önlemler alınmaya başlanmıştır.

Yeşil bina kavramının ortaya atıldığı ilk yıllarda akustiğe verilen önem daha düşük seviyelerde iken son yıllarda gürültü değerlerinin düşürülmesi çalışmaları ile akustiğe verilen önem artmıştır ve binalara verilen puanlama sistemi uyarınca, düşük akustik değerlerine sahip binalar ek puan alabilmektedir. Önümüzdeki yıllarda akustik değerlerin daha önem kazanacağı öngörülmektedir. Binalarda akustik denilince akla daha çok yalıtım ile ilgili problemler gelse de banyolarda kullanılan banyo bataryalarının bir ses kaynağı olduğu düşünülürse bu elemanların akustik değerlere etki açısından bir önem teşkil ettiği anlaşılmış olur.

İngiltere’de BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), Amerika Birleşik Devletleri’nde LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve Almanya’da DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) yeşil binalara yönelik sertifika veren en önemli ve geçerli (akredite) kuruluşlardır. Ve bu kuruluşların, birbirleri ile benzerlik taşısa da kendilerine özel puan verme sistemleri mevcuttur. Ülkemizde de yeşil bina denildiğinde karşımıza en çok çıkan isim LEED kuruluşudur [23, 24].



**Şekil 4.1.** LEED NC (Yeni Yapılar ve Büyük Onarımlar) kategori yüzdeleri ve akustiğin yeri [23]

#### 4.2. Banyo Bataryaları

Yaşam alanlarında hepimiz tarafından kullanılmakta olan ve halk dilinde genellikle çeşme diye adlandırılıp su akışı sağlayan sistemlerin isimlerine bir özelleştirme (ayırıştırma) yapacak olursak, Türkçemizde, su girişi çeşitliliklerine göre musluk ve batarya olarak adlandırılıp iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar.

Musluk, tek su girişi olan ve sıhhi tesisata bağlanan, ve bu tesisattan suyu sağlayıp tüketmemiz için bize imkan veren ürünlerdir (teçhizatlardır).

Batarya ise, sıcak su ve soğuk su olacak şekilde iki adet girişi bulunan, sıhhi tesisattan bu girişler yardımıyla suyu içerisine alan ve çıkış ucundan karışım olarak ya da sıcak veya soğuk olarak suyu dışarıya veren teçhizatlardır. Armatür olarak da adlandırılmaktadırlar.

Kullanım yerlerine göre ele alındıklarında;

- Lavabo Bataryası,
- Eviye Bataryası,
- Banyo Bataryası

olarak, genellikle üç ana sınıfa ayrılırlar.

Lavabo bataryaları, lavabolarda; eviye bataryaları, mutfaklarda ve banyo bataryaları ise adından da anlaşılacağı üzere banyolarda kullanılmaktadır.

Tesisat bağlantısı açısından incelenecek olursa; lavabo ve eviye bataryaları tesisata esnek bağlantı hortumları ile bağlanırken banyo bataryaları tesisata eksantrik nipel olarak adlandırılan yardımcı elemanlar yardımıyla bağlanabilmektedir.

Banyo bataryaları ise kendi arasında;

- Aplike Banyo Bataryaları,
  - Ankastre Banyo Bataryaları,
- olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır.

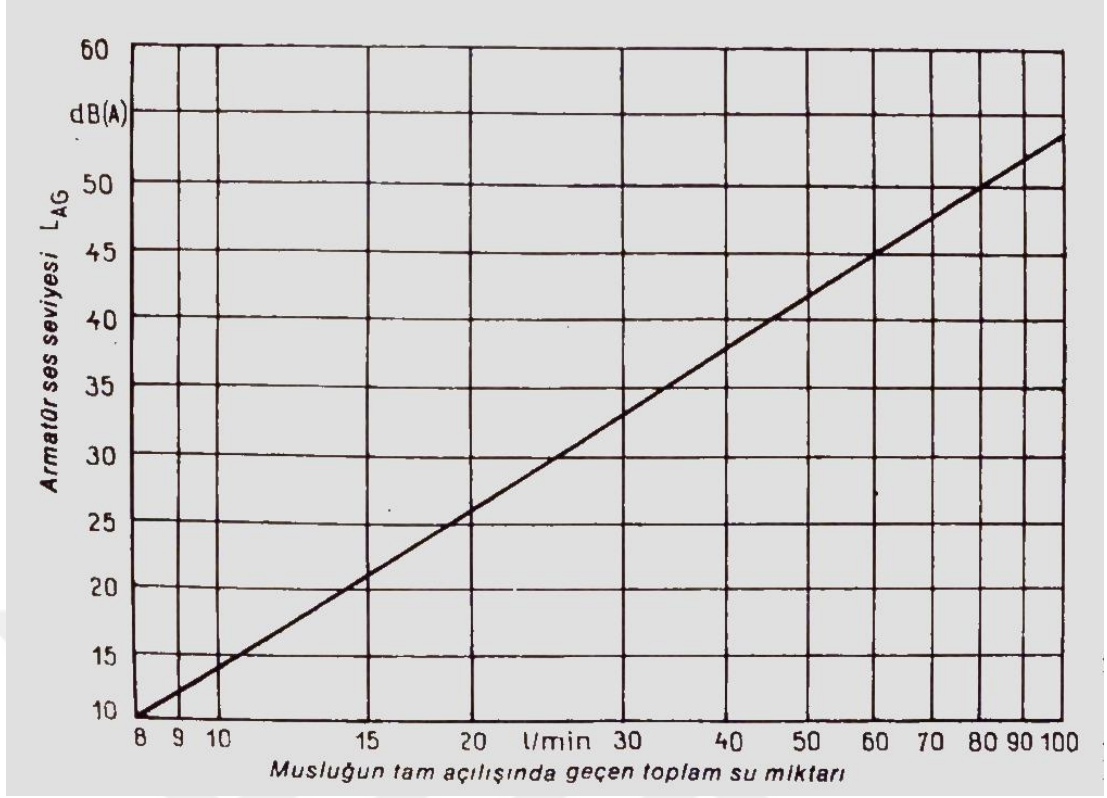
Aplike banyo bataryaları, klasik banyo bataryaları olup, bahsi geçen eksantrik nipel yardımıyla tesisata bağlanırken, duvar üzerinde görünürdür. Ankastre banyo bataryaları ise mekanizma olarak duvar içine gizlenmiş olup yalnızca su kontrolünün yapıldığı kısımları görünürdür ve tesisat bağlantıları eksantrik yerine tesisatın malzemesine bağlı olarak rakorlarla sağlanır.

Bu çalışmada daha önce de bahsedildiği gibi aplike yani klasik banyo bataryaları üzerinde durulmuştur.

### **4.3. Tesisatta Gürültü Oluşması**

Su tesisatında en önemli gürültü kaynakları armatür (batarya) gürültüleridir. Teknik hatalar sebebiyle oluşan gürültüler ihmal edilecek olunursa boşluk meydana gelmesi durumlarında (türbülans) spiral hareket merkezleri meydana geldiğinde yüksek gürültü oluşumu olacağı hesaba katılmalıdır.

Bir bataryada akış miktarı değişiklik göstermediğinde akış miktarı ile üretilen gürültü seviyesi arasında belirli bir ilişki olduğu göz önünde bulundurulmalıdır [12].



**Şekil 4.2.** Binalardaki sıhhi tesisat ve gereçlerin en fazla kullanılması esnasında meydana gelebilecek ses seviyeleri [12]

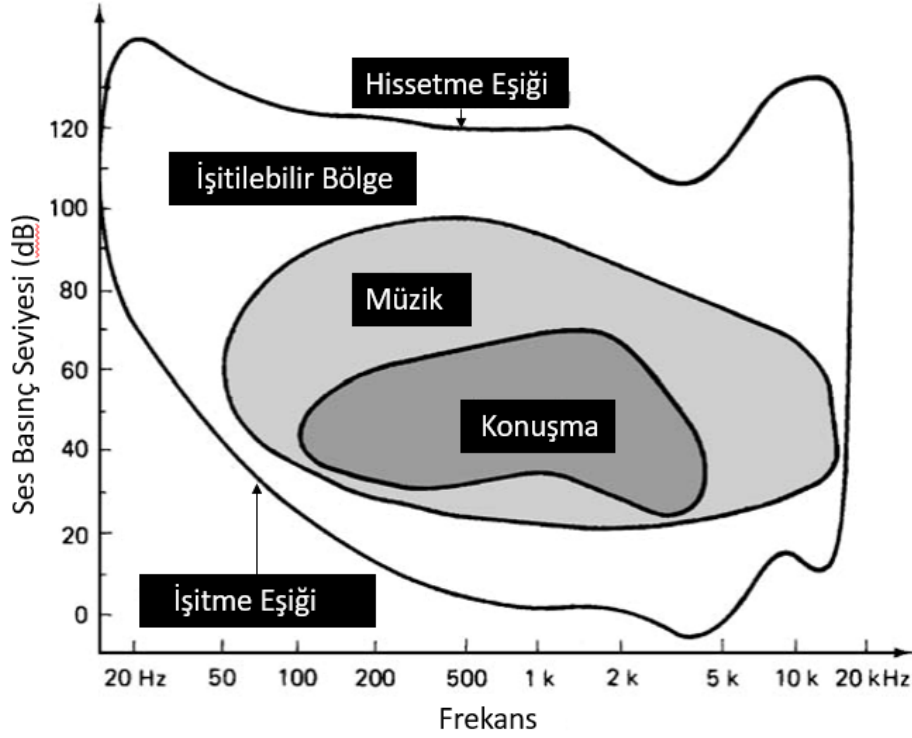
Batarya gürültüsü seviyesi, saptanmış koşullar altında akustik laboratuvarında gürültü standartları ile yapılan karşılaştırmalar yoluyla ölçülmüş olan A değerlendirmeli bir ses basıncı seviyesidir. Bu ses basıncı seviyesi yaklaşık olarak bir bina içerisindeki oturma odasında elde edilen ve söz konusu bataryanın oturma odasında değil de örnek olarak mutfak ile banyo arasında yer alması halinde ortaya çıkan ses basıncı seviyesine karşılık gelmektedir.

Şekil 4.2'deki grafikten anlaşılacağı üzere 30 dB (A)'lık bir batarya gürültü seviyesi için azami akış derecesinin ortalama olarak 25 lt/dak civarında olduğu görülmektedir. Genel olarak incelenecek olursa piyasada mevcut olan bataryalarda bu değer çoğu kez daha yüksektir. Azami akış derecesinin azaltılması yoluyla bu değer 5-10 dB civarında azaltılabilir. Ancak bataryanın yarı açık olduğu konumlarda, tam açık olduğu konumuna göre daha yüksek akustik değerler meydana gelmektedir.

Bataryanın kullanım esnasında regülatörüne (kartuş, salmastra) müdahale edilerek debisinin kısılması sonucu gürültü seviyesi düşürülebilir olsa da kullanım

konforu açısından bataryanın konstrüksiyonunda değişikliğe gidilip, komple bir çözüm yöntemi geliştirilmesi daha elverişlidir.

Özellikle banyo bataryalarında ve küvetlerinde doldurma ve boşaltma esnasında oluşan gürültüler rahatsızlık vermektedir [12].



Şekil 4.3. İşitme sınırları eğrisi [6]

Şekil 4.3'te ses basınç seviyesinin frekans ile değişim grafiği verilmiştir. Burada işitme ve hissetme eşikleri ile işitilebilir bölgeler gösterilmiştir.

#### 4.4. Tesisatta Gürültü Oluşumuna Alınacak Tedbirler

Bataryalarda akış hızının yüksek olduğu durumlarda ses, çapın daraldığı bölgelerde oluşur.

Batarya sesleri suda ses olarak yayılır. Metallerde boru cidarlarına geçiş yapar ve temas sesi olarak devam eder. Bu nedenle tavan veya duvar ile yapılan bağlantılarda, bu ses geçişini engelleyecek ya da azaltacak şekilde conta, kalın lastik bant , duvar geçişlerinde yumuşak beslemeli kaplama kullanılması tavsiye edilir.

Bunların dışında;

- Sadece gürültü sınıfı (I ya da II) olan armatürler kullanılmalı,
- Boru çapları iyi belirlenmeli,
- 5 bardan yüksek basınçlarda armatürlerden önce basınç düşürücüler konulmalı, çok katlı yapılarda basınç bölgeleri oluşturmalı,
- Kullanılan armatürler akış düzenleyicili (perlatörlü) olmalı [20].

Ayrıca DIN 4109 normunda, ev içerisindeki odalara geçebilecek teknik tesisatlardan kaynaklanan, izin verilen en yüksek ses seviyeleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

**Tablo 4.1.** DIN 4109 normunda izin verilen ses geçirgenlikleri [20]

Ses kaynağı	Korunması gereken oda çeşidi	
	Oturma ve yatak odaları	Sınıflar ve bürolar
Su tedarik ve atık su tesisatları	$\leq 35^{1)}$	$\leq 35^{1)}$
Diğer ev içi tesisatlar	$\leq 30^{2)}$	$\leq 35^{2)}$
6-22 saatleri arası işletmeler	$\leq 35$	$\leq 35^{2)}$
22-6 saatleri arası işletmeler	$\leq 25$	$\leq 35^{2)}$

<sup>1)</sup> Armatür veya cihazların kullanılması esnasında bir defa ve kısa süreli yüksek sesler dikkate alınmaz  
<sup>2)</sup> Devamlı ve dikkate çekmeyen tek ton olduğu müddetçe havalandırma tesis ve tesisatlarına yukarıdaki değerlerden 5 dB (A) fazla sese müsaade edilir.  
Klozet kapağı veya duş kabininin kapatılması veya dış fırçası bardağının konması sırasında ortaya çıkan kullanıcı sesleri dikkate alınmaz.

#### 4.5. Standartlar

Ülkemizde banyo bataryalarında Avrupa normlarına göre uygulanan standartlardan, kumandalı ürünler için TS EN 817 ve salmastralı ürünler için TS EN 200, termostatik ürünler için TS EN 1111 standartları kullanılmaktadır.

Her üç standart içerisinde de akustik ölçümleri için, yine Avrupa normlarına uygun olan TS EN 3822-1/2/3/4 standartlarına atıf yapılmaktadır ve akustik ölçümlerinde bu standartlar kullanılmaktadır.

TS EN 3822 standardına göre ürünler sahip oldukları dB(A) değerlerine göre tablo 4.2’de verildiği gibi üç sınıfa ayrılırlar:

**Tablo 4.2.** Akustik sınıflandırma tablosu

Grup	Lap [dB (A)]
I	$\leq 20$
II	$20 < \text{Lap} \leq 30$
U (sınıflandırılmamış)	$>30$

#### 4.6. Sektörel Mevzuatlardan Bazı Tanımlar:

Darbe gürültüsü: İki kütlenin birbirine çarpması ile ortaya çıkan gürültüdür.

dB: Birbirinden merteye farklılıkları gösteren, nicelikleri anlamlı olarak ifade etmede kullanılan logaritmik bir ölçektir.

dB(A): İnsan işitme sisteminin düşük şiddetteki seslere karşı en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekanslara daha fazla ağırlık veren, A ağırlıklı ses seviyesi olarak tabir edilen ve gürültünün etkilenim değerlendirilmesi ve kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir ses seviyesi ölçütüdür.

Oktav bant: Gürültü enerjisinin frekansa göre değişimini ortaya çıkarmakta yararlanılan alt ve üst frekans sınırlarının birbirinin iki katı olan frekans bandı ve bant genişliğinin merkez frekansının % 70’ine eşit olduğu bantdır.

Ses basıncı seviyesi (Lap): Ortamda belli bir noktada ölçülen ses basıncının,  $2 \times 10^{-5}$  Pa veya 20  $\mu$ Pa referans ses basıncına oranının 10 tabanına göre logaritmasının 20 ile çarpılmasıyla bulunan ve dB cinsinden ifade edilen değeridir.

Ses gücü seviyesi (Lw): Bir ses kaynağının yaydığı ses gücünün milletlerarası standartlarda tanımlanan referans ses gücüne oranının 10 tabanına göre logaritmasının 10 ile çarpılmasıyla bulunan ve dB cinsinden ifade edilen değeridir.

Gürültüye karşı koruma: Yapı işleri, gürültünün binada bulunanların ve çevresindeki insanların sağlığını tehdit etmeyecek, onların yeterli koşullarda uyuma, dinlenme ve çalışmalarına izin verecek şekilde tasarlanıp, yapılmalıdır [25, 26, 27].



## 5. BANYO BATARYALARI İÇİN ALTERNATİF DİFÜZÖR TASARIMLARI

### 5.1 Difüzör Kullanımının Gerekliliği

Tasarım aşamasına geçmeden önce difüzör kullanılmayan ve difüzör kullanılan durumlara ait laboratuvar test sonuçları aşağıda gösterilmektedir:

**Tablo 5.1:** Laboratuvar deney sonuçları (dB(A))

	Difüzsüz	Difüzörlü
Soğuk Su Tarafı	27	21,5
Sıcak Su Tarafı	27,4	22,9
Karışım	30	27,5
Maksimum	30,6	28,2

Tablodan da görüldüğü gibi difüzör kullanılmayan üründe maksimum gürültü değeri 30,6 dB(A) olarak ölçülürken, difüzörün kullanıldığı durumda bu değer 28,2 dB(A) olarak ölçülmüştür.

Ölçümler TS EN 3822-1 standardına göre uygulanmıştır. Bu standarda göre difüzsüz üründe maksimum gürültü 30 dB(A) değerini aştığı için ‘U’ sınıfı olarak adlandırılmaktadır. Ancak difüzörlü üründe 28,2 dB(A) değeri sınır değer olan 30 dB(A) değerinin altında olduğu için sınıf ‘II’ olarak tanımlanmaktadır.

Her ne kadar ‘U’ sınıfı yani ‘sınıfsız’ olarak tanımlansa da bu değer ürünün standardına uygundur ancak bilinçli tüketiciler tarafından bu sınıfa sahip ürünler talep edilmeyebilmektedir.

### 5.2 Bataryalarda Oluşan Gürültünün Sebepleri

Sihhi tesisatlarda oluşan gürültünün en temel nedeni su akışını sağlayan musluk ve bataryalardaki su akışıdır, yani sistemin çalışmasıdır. Gürültünün oluşumuna çeşitli faktörler neden olmaktadır.

Banyo bataryalarında gürültü şu sebeplerden dolayı oluşabilir [28]:

- Su basıncı
- Akış hızı
- Zayıf cidar kalınlıkları
- Yön değişikliklerinden kaynaklanan türbülans
- Sistemdeki tıkanmalar

Bu çalışmada gürültü oluşumunun türbülans kaynaklı olduğu kabulü yapılmış olup, alınacak önlemler için difüzör tasarımları üzerinde değişiklikler yapıp, analizler bu tasarımlara göre yapılacaktır.

Öncelikle akışın türbülanslı olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilmesi için Reynolds sayısı hesaplanacak olup elde edilen değer in büyüklüğüne göre akışın türü ortaya çıkarılacaktır.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (5.1)$$

$Re$ : Reynolds Sayısı (boyutsuz)

$\rho$ : yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$ : akış hızı ( $\text{m/s}$ )

$D$ : çap ( $\text{m}$ )

$\mu$ : dinamik viskozite ( $\text{kg/ms}$ )

Çalışmadaki değerler:

$V = 3 \text{ m/s}$

$D = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Suyun  $20^\circ\text{C}$ 'deki değerleri:

$\rho: 999,2 \text{ kg/m}^3$

$\mu: 0,001003 \text{ kg/ms}$

$Re = 29886$

$Re < 2000$ : Laminer

$Re = 2000 - 4000$ : Geçiş durumu

$Re > 4000$ : Türbülanslı

Reynolds ( $Re$ ) sayısının karşılık geldiği değere göre çalışmadaki akış türbülanslıdır.

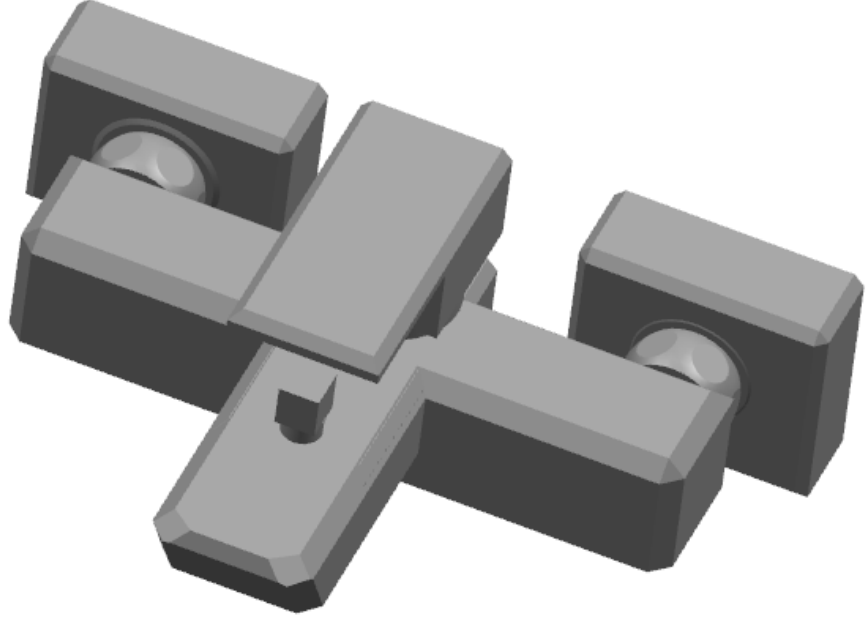
Musluk veya bataryalarda oluşan gürültünün sebebi olan etkenlerden türbülans seviyesi, üreticilerin bu konuya verdiği önem düzeyine bağlı olarak değişmektedir.

Musluk veya bataryalar, her birinin çıkardığı gürültüyü kontrol etme kabiliyetleri bakımından büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bir ürünün maliyeti, genellikle üreticinin yayınlanmış çalışma gürültü seviyeleri ile ilgili olarak değişebilmektedir [28].

Şekil 5.1’de aplike banyo bataryası örneği görülmektedir.

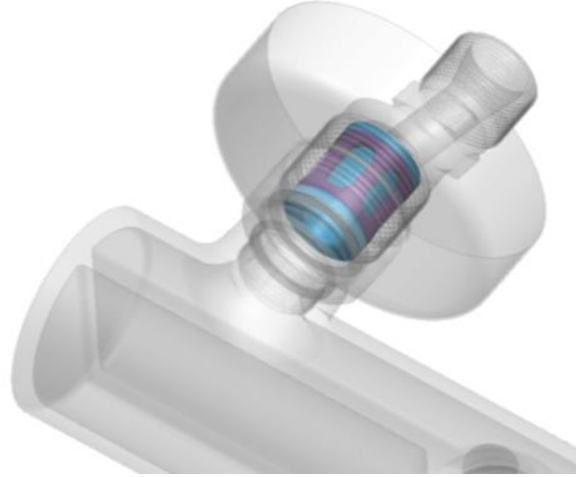
Bu bataryalar, banyoda duvar üzerine eksantrik denilen nipeller vasıtasıyla sıhhi tesisata bağlantıları yapılmaktadır. Aplike bataryalar, batarya tanımları bölümünde bahsedildiği gibi görünür bataryalardır. Çalışmada aplike banyo bataryaları, banyo bataryaları olarak anılacaktır.

Bu çalışmada kullanılacak difüzörler, bahsedilen eksantrikler içerisine yerleştirilmektedir. Bu difüzörler sayesinde yüksek olan akustik değerleri düşürülmektedir.



**Şekil 5.1.** Aplike banyo bataryası

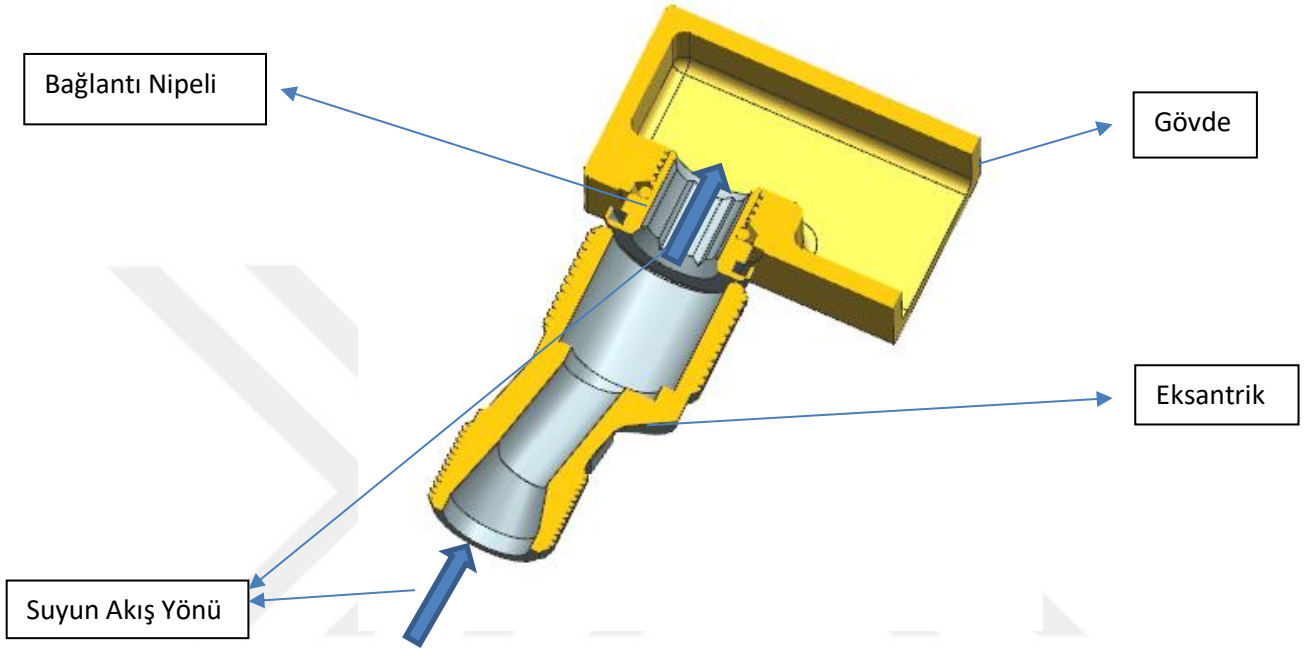
Şekil 5.2’de ise renkli olarak belirtilmiş olan eleman difüzördür. Sıcak su ve soğuk su girişlerinde kullanılan eksantriklerinin her ikisinin içerisinde de kullanılmaktadır.



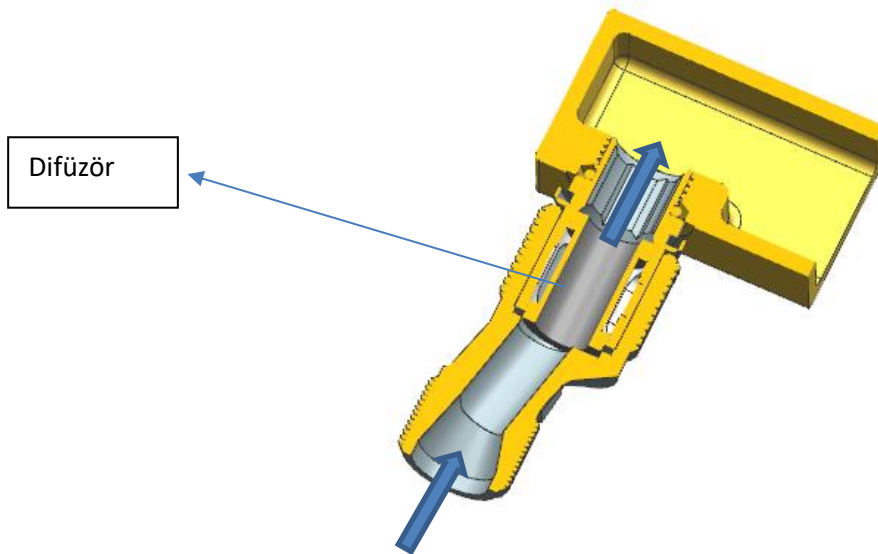
**Şekil 5.2.** Banyo bataryası kesiti (difüzörlü)

Şekil 5.3’te içerisinde difüzör elemanı kullanılmayan bir banyo bataryası kesiti ve bileşenlerin isimleri görülmektedir. Sıhhi tesisat içerisinde gelen su bataryanın

içerisine doğru yol alırken eksantrik, ardından bağlantı nipeli ve gövde istikametini izlemektedir. Şekil 5.4'te içerisinde difüzör elemanı kullanılan bir banyo bataryası kesiti görülmektedir. Sıhhi tesisat içerisinde gelen su bataryanın içerisine doğru yol alırken eksantrik, bağlantı nipeli öncesi difüzör, ardından bağlantı nipeli ve gövde istikametini izlemektedir.

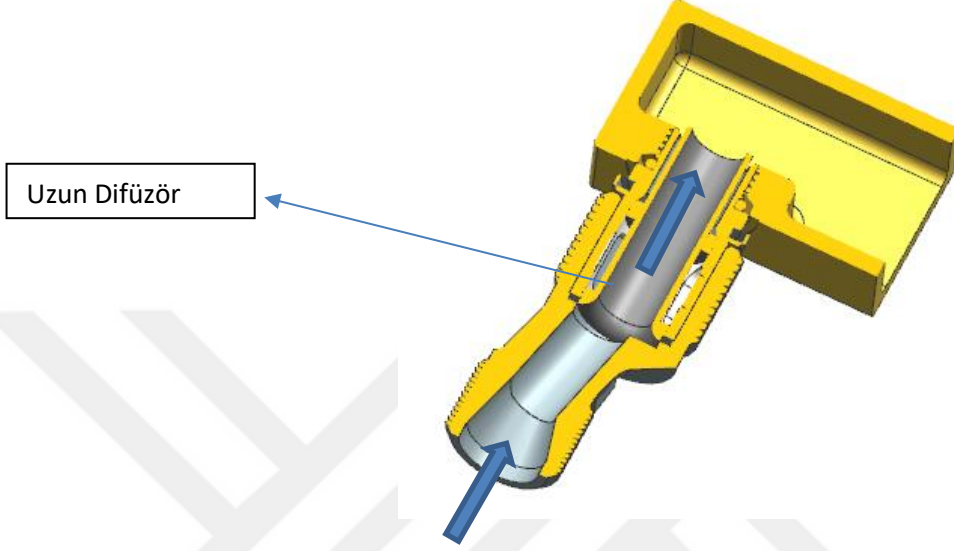


Şekil 5.3. Banyo bataryası kesiti (difüzörsüz)



Şekil 5.4. Banyo bataryası kesiti (difüzörlü)

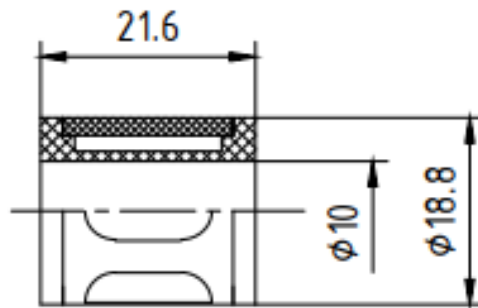
Şekil 5.5'te ise içerisinde tasarımı geliştirilmiş uzun difüzör elemanı kullanılan bir banyo bataryası kesiti görülmektedir. Sıhhi tesisat içerisinde gelen su bataryanın içerisine doğru yol alırken eksantrik, ardından uzun difüzör ve bağlantı nipeline temas etmeden doğrudan gövde içerisine doğru yol alır.



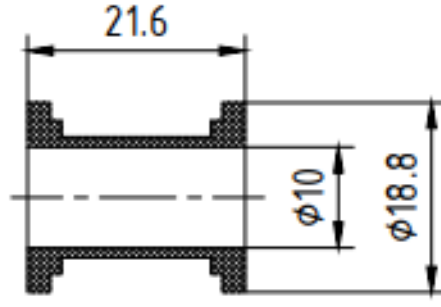
Şekil 5.5. Banyo bataryası kesiti (uzun difüzörlü)

### 5.3 Difüzör Boyutları

Banyo bataryalarında oluşan gürültü oluşumunu azaltmak amacıyla kullanılan difüzörlerin boyutları şekil 5.6 ve şekil 5.7'deki gibidir. Şekil 5.6'da susturucunun birleşik teknik resmi yer almaktadır. İçeride suyun temas ettiği parça malzemesi 'silikon' malzeme, difüzörün silikona destek olup eksantrik nipel içerisine montajını kolaylaştıran parçası ise polyamid (PA) malzemedir.



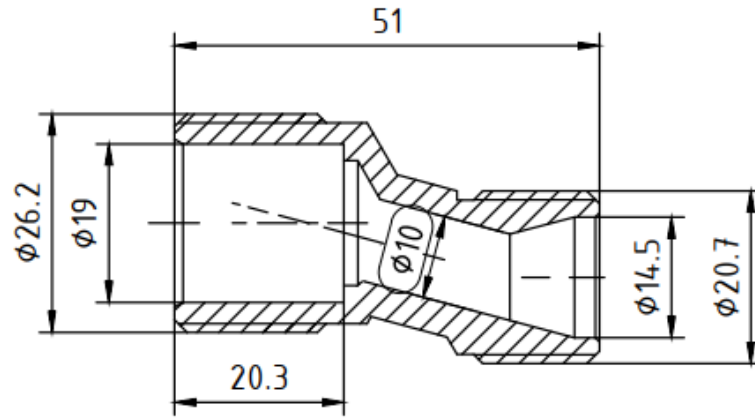
Şekil 5.6. Komple (silikon ve PA) difüzör boyutları (mm)



**Şekil 5.7.** Difüzör iç parça (silikon) boyutları (mm)

#### 5.4 Eksantrik Nipel Boyutları

Ürün ile sıhhi tesisat arasında bağlantı yapılmasına olanak veren şekil 5.8'deki eksantrik nipel pirinç malzeme olup, pres yöntemi ile üretilmektedir.



**Şekil 5.8.** Eksantrik nipel boyutları (mm)

Aşağıda beş farklı difüzör modeli yer almaktadır. Suyun sıhhi tesisattan gelirken difüzöre ilk temas ettiği kısım giriş, son temas ettiği kısım ise çıkış olarak adlandırılmış olup, bu kısımlarda farklı yuvarlatma yarıçapları (radyus) değerleri mm cinsinden verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Giriş kısmındaki yuvarlatma yarıçapı değeri  $R_{giriş}$ , çıkış kısmındaki yuvarlatma yarıçapı değeri  $R_{çıkış}$  olarak belirtilmiş olup bundan sonraki kısımlarda;

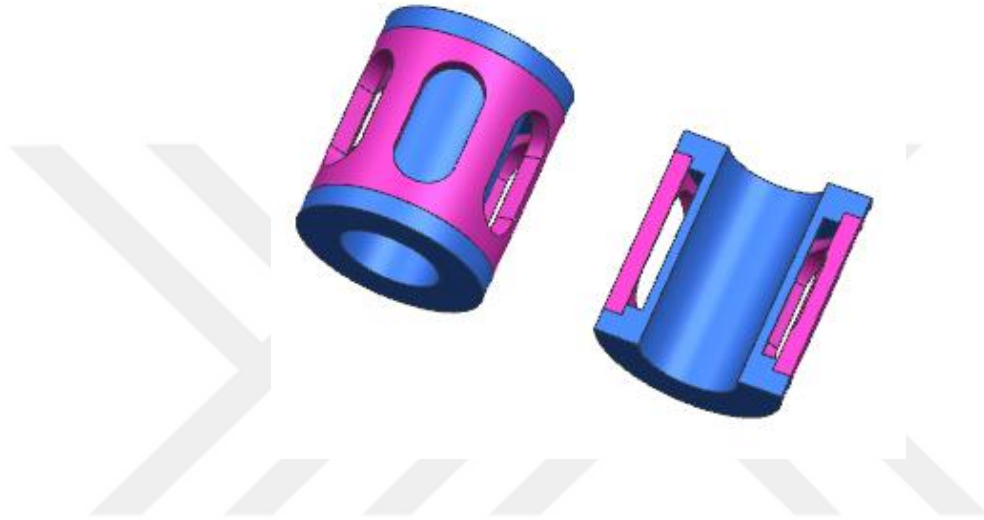
(Rgiriş=0 mm) - (Rçıkış=0 mm) yerine “R0-R0” (halihazırda kullanılan difüzör)

(Rgiriş=1 mm) - (Rçıkış=1 mm) yerine “R1-R1”

(Rgiriş=3 mm) - (Rçıkış=0 mm) yerine “R3-R0”

(Rgiriş=3 mm) - (Rçıkış=3 mm) yerine “R3-R3”

(Rgiriş=3 mm) - (Rçıkış=0 mm) uzun yerine “R3-R0 uzun” olarak adlandırılacaktır.

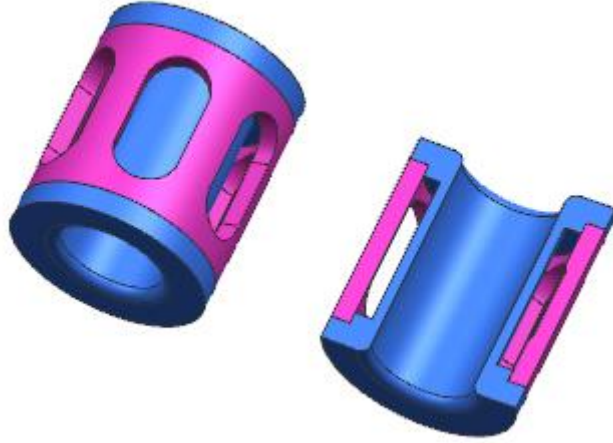


**Şekil 5.9.** Silikon difüzör, R0-R0

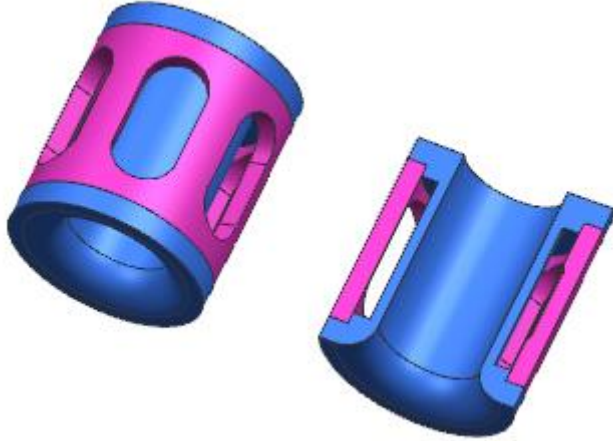
Şekil 5.9’da giriş ve çıkış kısımları herhangi bir yuvarlatma yarıçapı kullanılarak tasarlanmamıştır. Bu susturucu halihazırda kullanılan susturucu referans alınarak hazırlanmıştır. Diğer modeller ise R0-R0 modeli referans alınarak tasarlanmışlardır.



Şekil 5.10’de sırasıyla giriş ve çıkış için 1 mm’lik yuvarlatma yarıçapları kullanılmıştır. Şekil 5.11’de ise giriş kısmı 3 mm yuvarlatma yarıçapı kullanılarak tasarlanmış olup, çıkış kısmında ise yuvarlatma yarıçapı tasarlanmamıştır.

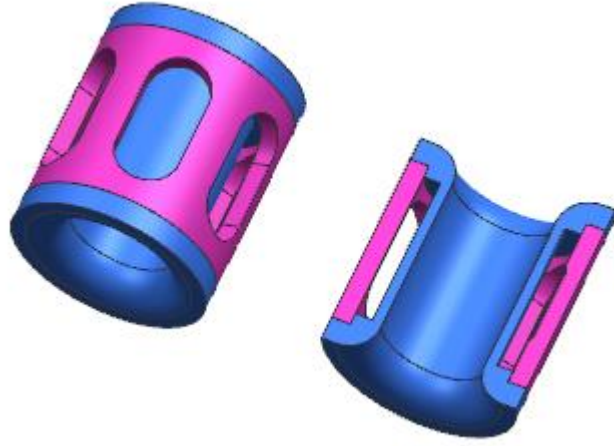


**Şekil 5.10.** Silikon difüzör , R1-R1



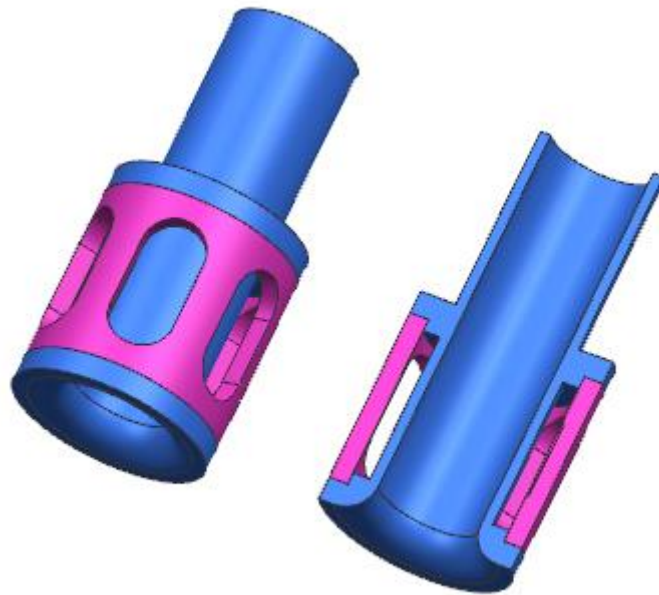
**Şekil 5.11.** Silikon difüzör , R3-R0

Şekil 5.12’da giriş ve çıkış kısımları 3 milimetrelik yuvarlatma yarıçapları kullanılarak tasarlanmıştır.



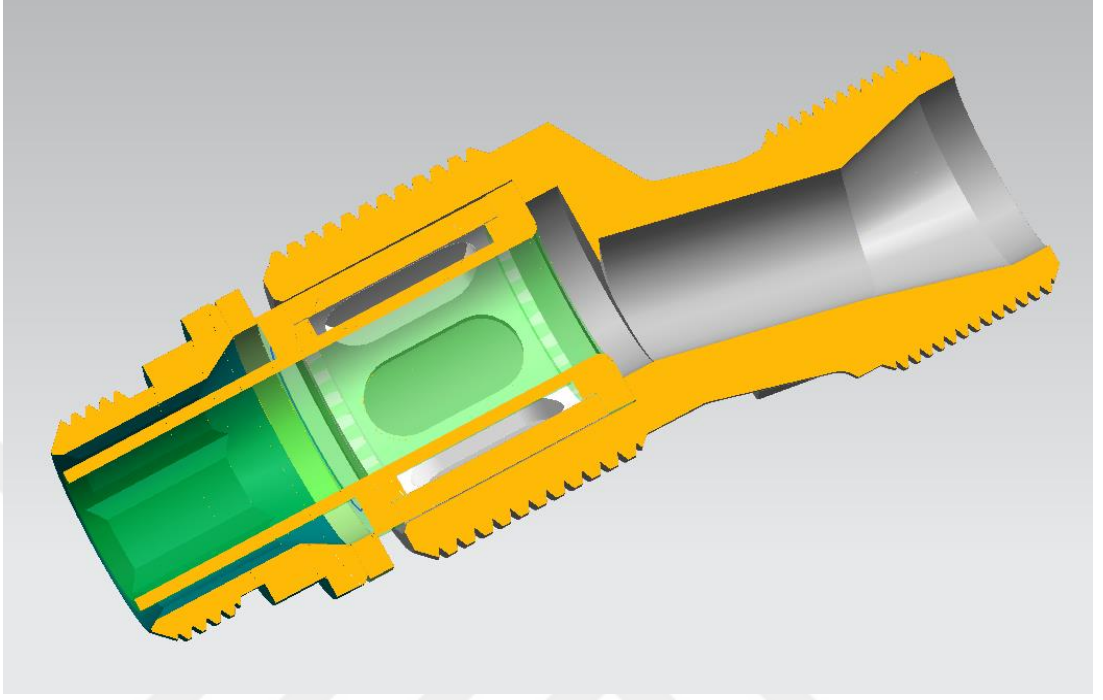
**Şekil 5.12.** Silikon difüzör , R3-R3

Yapılan bu yuvarlatma yarıçapı tasarımı çalışmalarından sonra Şekil 5.13’de görüldüğü gibi girişi 3 mm’lik yuvarlatma yarıçapına sahip olan fakat çıkışında yuvarlatma yarıçapı bulunmamakla birlikte su temas alanı artırılmış olan uzun difüzör tasarımı yer almaktadır.



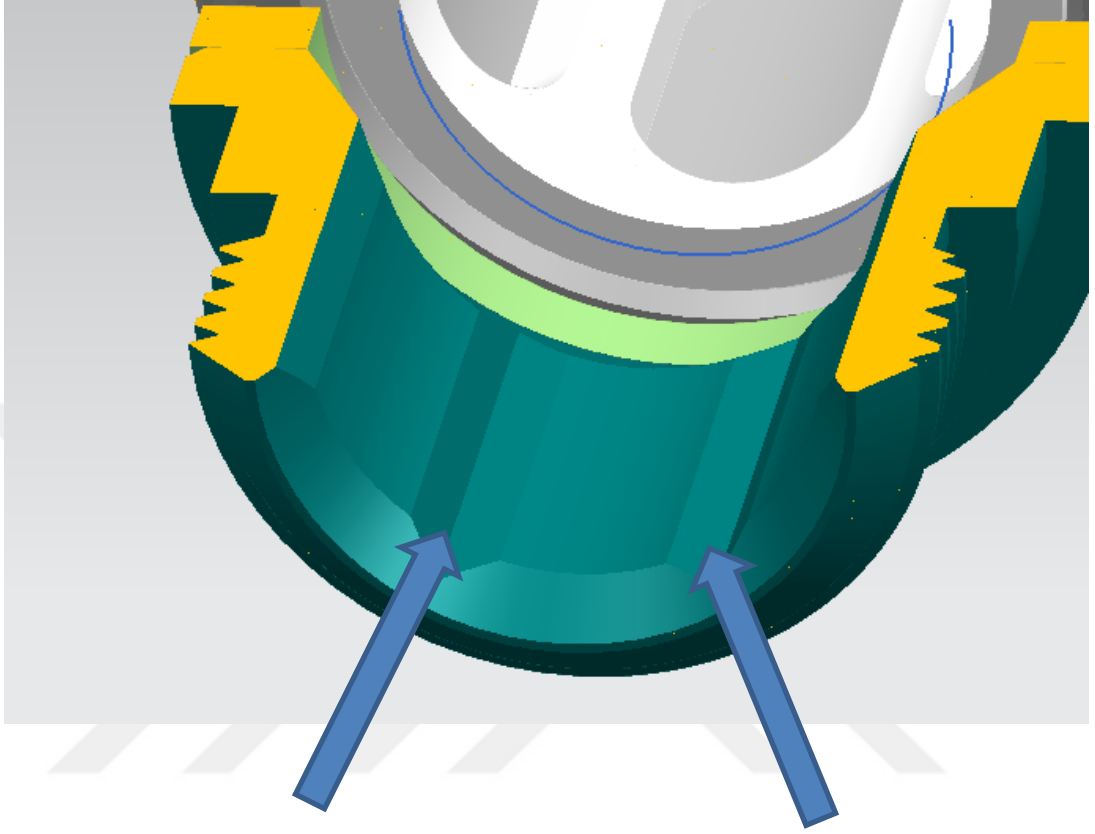
**Şekil 5.13.** Silikon difüzör , R3-R0 uzun

Şekil 5.14'te eksantrik nipel içerisinde R3-R0 uzun difüzör kullanıldığı durum görülmektedir.

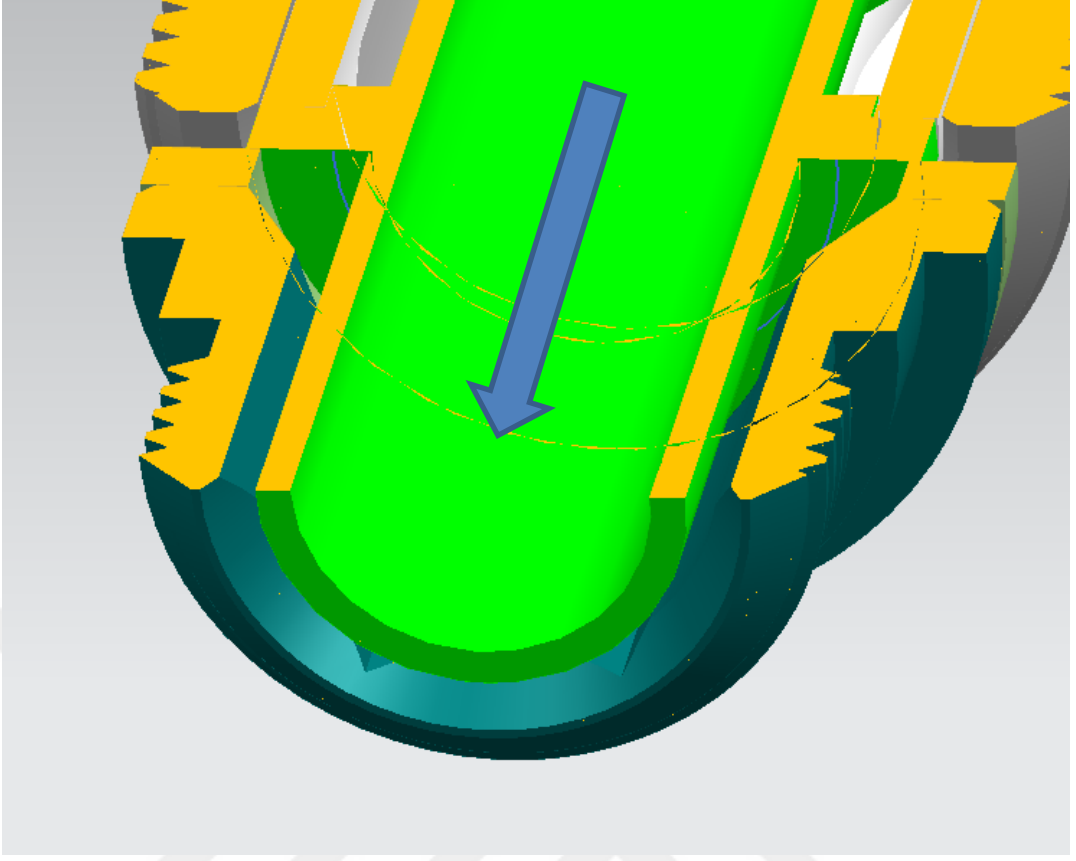


Şekil 5.14. Eksantrik içerisinde yeni nesil difüzör

Bu uzun difüzör sayesinde batarya içerisine giren su, eksantrik nipelden geçerken şekil 5.15'te gösterilen yüzeylere temas etmeden şekil 5.16'da gösterildiği gibi doğrudan akacaktır.



**Şekil 5.15.** Düzensiz akış oluşturan kesitler



**Şekil 5.16.** Düzensiz akışın önleneceği yeni tip difüzörlü akış

## 6. HESAPLAMALI ANALİZ

### 6.1. LES Yöntemi (Large Eddy Simulation)

Akış kaynaklı gürültü, temelde akışkan hacmi içerisindeki basınç farklılıklarından meydana gelmektedir. Akışkan zerreciklerindeki dalgalanmaların belirli frekanslarda baskın gelmesiyle ses basıncı oluşmaktadır. Akışkan içerisindeki bu dalgalanmaların deneysel ortamda tespit edilmesi çok zahmetli ve pahalıdır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD-CFD) yöntemi, akışkan dalgalanmalarını belirli yaklaşımlarla elde edebilmekte ve bunların görselleştirilmesine imkan vermektedir. Deneysel çalışmaya göre daha az zahmetli olan bu yöntemde akışkan dalgalanmaları ve çevrintileri belirli türbülans modelleri ile modellenabilmektedir.

HAD yönteminde bulunan RANS (Reynolds-Averaged Navier–Stokes) türbülans modelleri geniş-bant gürültüsü yaklaşımıyla akış kaynaklı akustik hesaplamalarına imkan vermektedir. Çeşitli uygulamalarda oldukça etkin olan ve hızlı sonuç veren bu yaklaşımlar, temelinde akış içerisindeki hesaplama bölgesinde basınç farklılıklarını kullanmaktadır. Yine HAD yönteminde daha karmaşık türbülans modellerinden en çok tercih edilen Large Eddy Simulation (LES), zamana bağlı çözümler ile dalgalanmaları ve dolayısıyla akışkan hacmi içerisindeki basınç değişimlerinin frekanslarının eldesi için daha iyi bir yaklaşım sağlar.

Elde edilen bu basınç değişimleri, Lighthill benzerliği, FW-H (Ffowcs Williams ve Hawkins) integral yöntemi veya LEE (Lineerleştirilmiş Euler Denklemleri) gibi akustik yayılım yöntemlerinden en uygun olanları kullanılarak ses basınç seviyelerine dönüştürülebilir. Akış kaynaklı gürültü oluşumunun nedenlerinin irdelenmesi amacıyla HAD yöntemi kullanılarak yukarıda bahsedildiği gibi bir yaklaşım sağlanabilmektedir.

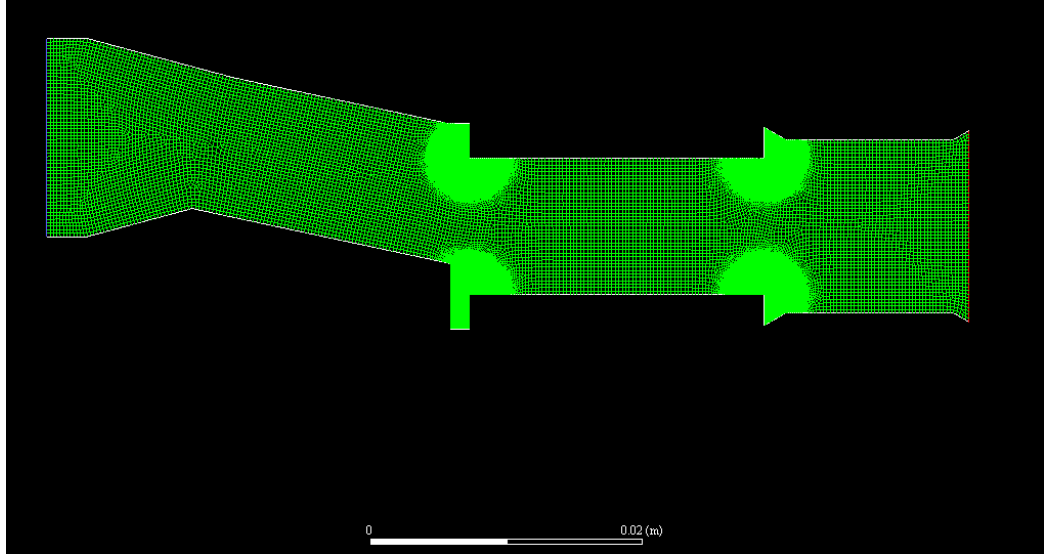
## 6.2. Analizlerin Yapılması

Öncelikle analizini yapılmak istenilen tasarımlara ait olan geometriler iki boyutlu olarak analize uygun hale getirildi. Aşağıdaki şekillerde görüleceği gibi ağ yapısı (mesh) çalışması yapılmıştır.

Steady state (kararlı hal) yöntemi kullanılarak girdap oluşumları incelendi ve yeterli sonuç alınamayacağına karar verilerek, zamana bağlı çözüm yapmak üzere LES yöntemi kullanılması uygun görüldü.

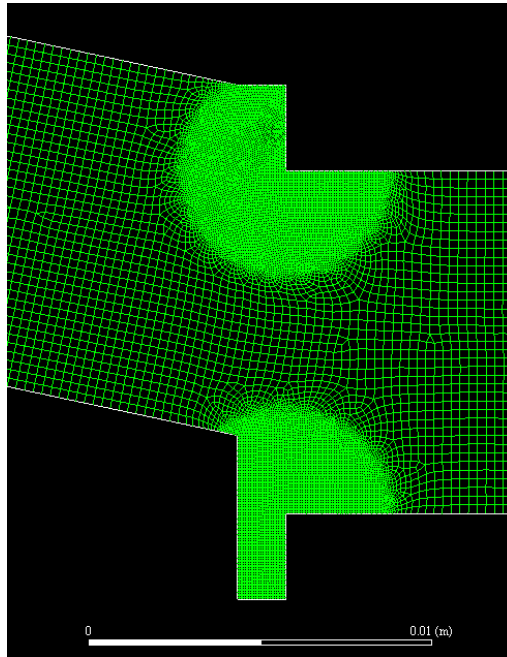
Suyun akış hızı 3 m/s olarak kullanıldı. Akışın rejime girmesi için çözümler dört defa tekrarlandı. İnsan kulağının en hassas olarak algıladığı A ağırlıklı ses seviyesi olan dB(A) değerleri kullanıldı. En doğru sonuçları alabilmek için 1/3 oktav ile 500 Hz frekansında çözümler gerçekleştirildi.

ANSYS Fluent, Ffowcs-Williams and Hawkins (FW-H) formülasyonunu sunmaktadır. Bu yöntemde alıcıların hesaplama alanının içerisine yerleştirilmesi zorunluluğu yoktur. Bu çözüm yükünü azaltmaktadır. Akustik değerini ölçebilmek için alıcılar difüzörlerin 1 metre uzağına yerleştirildi ve akustik çözümlere ulaşıldı.



**Şekil 6.1.** Analizlerde kullanılan ağ yapısı

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi geometride daha iyi performansa sahip olan ve çözümlemede daha doğru sonuçlar verebilmesi için 4 yüzlü ağ yapısı (quadrilateral) yöntemi ile 64000 adet eleman kullanılmıştır. Hassas ölçümleme gereken difüzörün giriş ve çıkış yüzeylerinde ağ yapısı sayıları arttırılmıştır. Bu yüzeylerde ağ yapısı sayısının arttırılmasının sebebi sonuçları etkileyecek olan bu kritik bölgelerde daha hassas çözümleme elde etmektir.

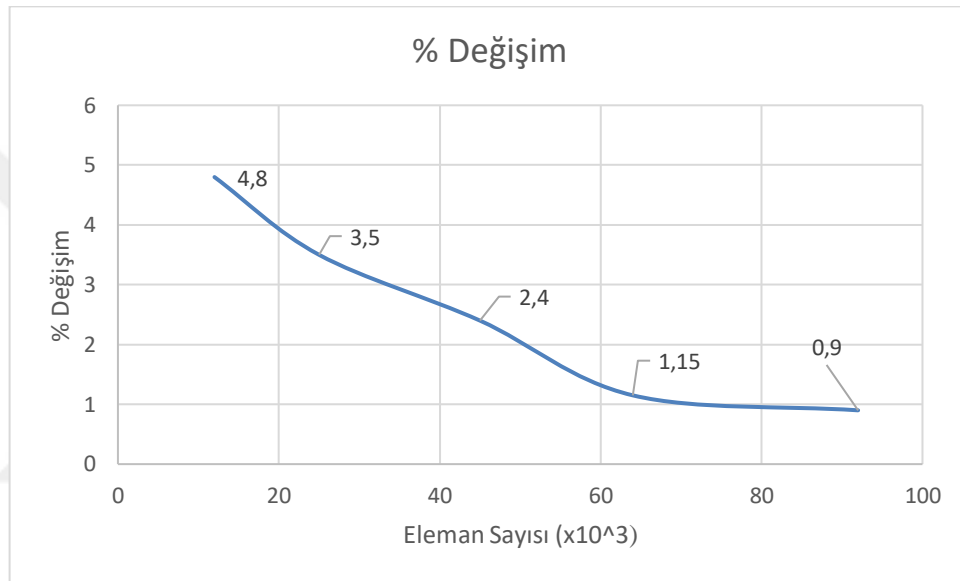


**Şekil 6.2.** Analizlerde kullanılan ağ yapısı (detay)



### 6.3. Eleman Sayısının Çözümüne Etkisi

Ağa bağımlılık analizi ile eleman boyutunun çözüme etkisi en aza indirilmiştir. Temel geometri baz alınarak oluşturulan ağ yapısında çalkantıların olduğu bölgelerde eleman sayısı arttırılmıştır. 12000 ile 92000 eleman arasında akustik gürültünün değişimi gözlemlenmiş olup, 64000 ile 92000 eleman arasındaki değişimin %1,15 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplama yükünün eleman sayısının karesi ile orantılı oluşu ve LES hesaplamalarının külfeti göz önünde bulundurulduğunda çalışmanın 64000 eleman ile devam ettirilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 6.3. Eleman sayısının çözüme etkisi

1,2 büyüme oranına sahip dört kenarlı elemanlar kullanılarak oluşturulan ağda minimum ortogonal kalite 0,34, maksimum en-boy oranı 5,6 ve maksimum çarpıklık 0,6 olarak ölçülmüştür. Yüksek kaliteli bu ağ yapısı çalkantıların çözümlenebilmesi için gereklidir.

#### 6.4. Çözüm Yöntemleri

Bu tezde basınç-hız birlikteliği zamana bağlı hesaplamalarda [29] tarafından öne sürülen PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operator) algoritması ile sağlanmıştır. Konumsal ayrıklaştırma için Hücre Merkezli En Küçük Kareler yöntemi kullanılmıştır [30]. Duvar yakınında momentum terimine etkinin azaltılabilmesi için PRESTO (PREssure STaggering Option) basınç ayrıklaştırması için seçilmiştir [31]. Taşınım terimi ayrıklaştırması Merkezli Farklar Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Zaman bağlı terim İkinci Derece Örtülü (Bounded Second Order Implicit) formülasyonu ile gerçekleştirilmiş olup, Courant sayısı yakınsamayı ve bağlılığı sağlamak için kontrol edilir [32]. Courant sayısı  $\Delta t$  zaman adımı,  $\Delta x$  hücre uzunluğu ve  $V$  hız değeri olacak şekilde boyu şu şekilde,

$$Co = |V| \cdot \Delta t / \Delta x \quad (6.1)$$

ile tanımlanır. Çalışmada rahatlama faktörleri basınç için 0,3, yoğunluk için 1,0, momentum için 0,7 ve bünye kuvvetleri için 1,0 olarak seçilmiştir.

Large Eddy Simulation (LES) türbülans modeli için Smagorinsky-Lilly [33] ölçeklendirmesi tercih edilmiştir. Akustik hesaplamalarda uzak alan yoğunluğu için  $1,225 \text{ kg/m}^3$  hava yoğunluğu ve uzak alan ses hızı  $340 \text{ m/s}$  olarak girilmiştir. Referans akustik basınç değeri  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 'dır.

Süreklilik ve momentum denklemlerinin yakınsama kriteri  $10^{-5}$  mertebelerindedir. Zamansal terim iteratif olarak çözümlenmiş, her zaman adımında ortalama 30 iterasyon çözümleme gerçekleştirilmiştir. Çözümlemeler adyabatik kabul edilmiş olup, enerji terimi denklemlere dahil edilmemiştir.

#### 6.5. Sınır Koşulları

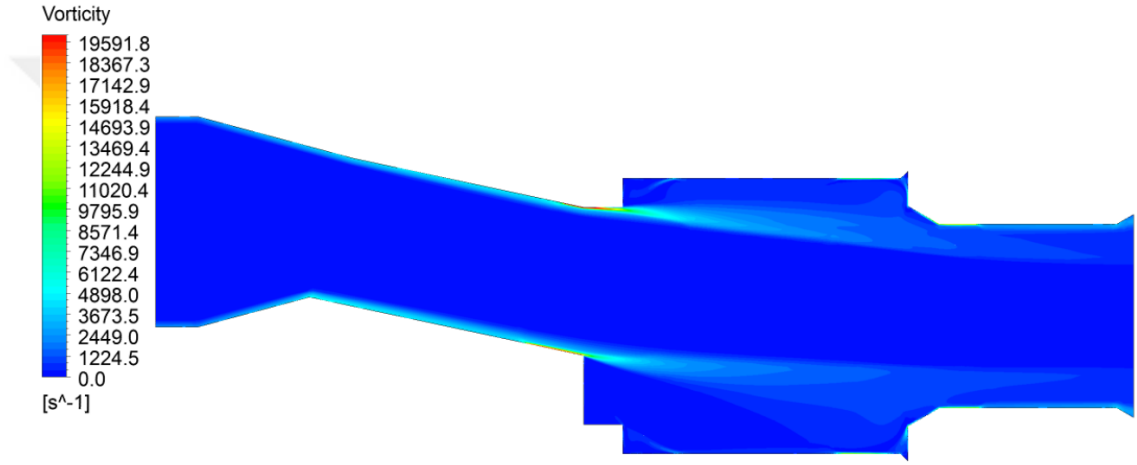
Çalışmada giriş sınır koşulu olarak  $3 \text{ m/s}$ ' lik hız girdisi verilmiştir. Giriş sınır koşulunda çalkantıların olmadığı kabulü gerçekleştirilmiştir. Çıkış sınır koşulunda hız gradyenleri 0 olarak tanımlanmış olup, mutlak basınç  $0 \text{ Pa}$ ' a eşitlenmiştir. Duvarlarda kaymama sınır koşulu tanımlanmıştır.

## 6.6. Analiz Sonuçları

### 6.6.1. Difüzsüz Geometri

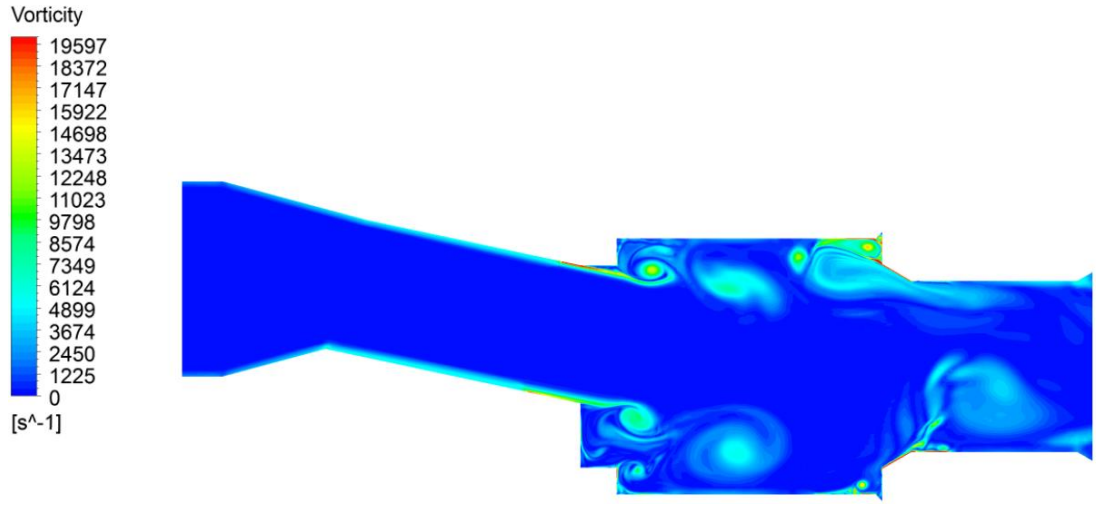
Difüzör ile yapılacak tasarım ve analiz çalışmalarından önce difüzör kullanılmayan sistemin, yani suyun tesisattan geldikten sonra ürün içerisine doğru yol alırken eksantrik nipel içerisine doğrudan temas ederek gövdeye ulaştığı durumun analizi yapılacaktır.

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.4'te görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.

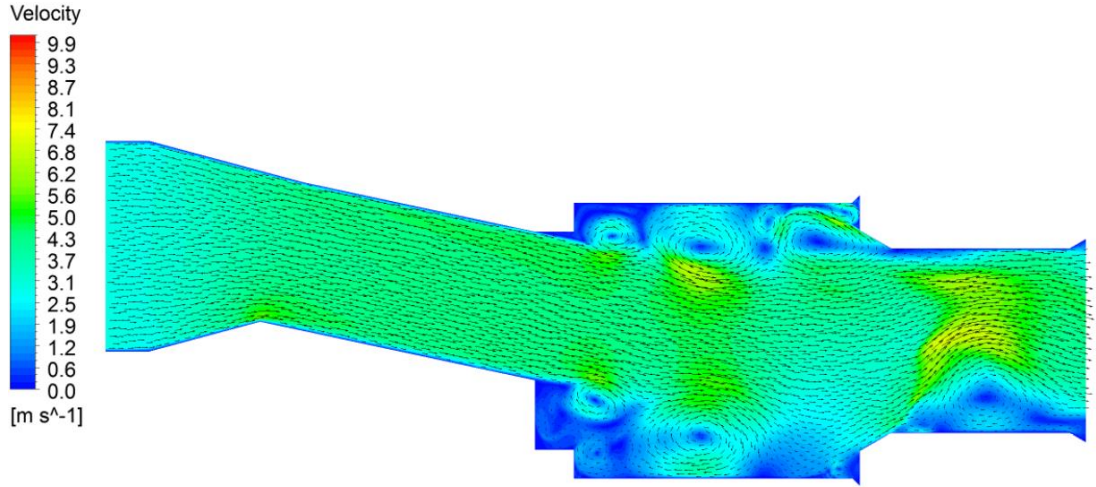


Şekil 6.4. Difüzsüz sistem akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi şekil 6.5 ve şekil 6.6'da detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.



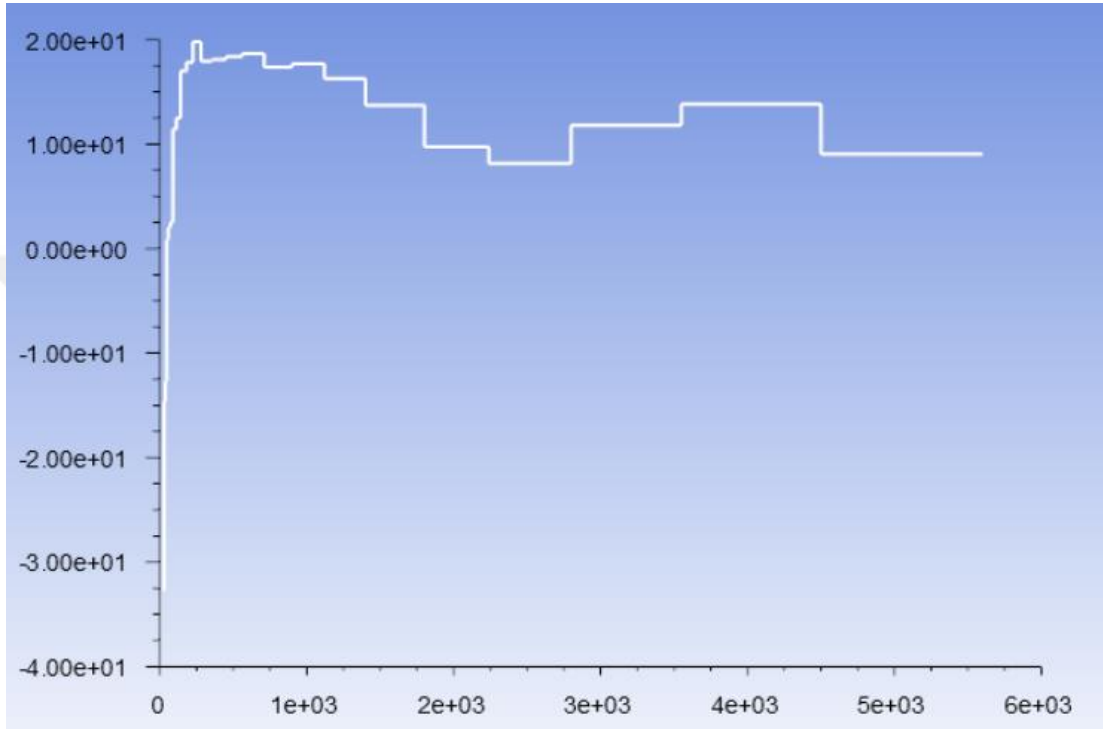
Şekil 6.5. Difüzörsüz sistemdeki girdap oluşumları-LES-



Şekil 6.6. Difüzörsüz sistemdeki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümleme ile 38 dB değeri elde edilmiştir. Şekil 6.7’de 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.

dB

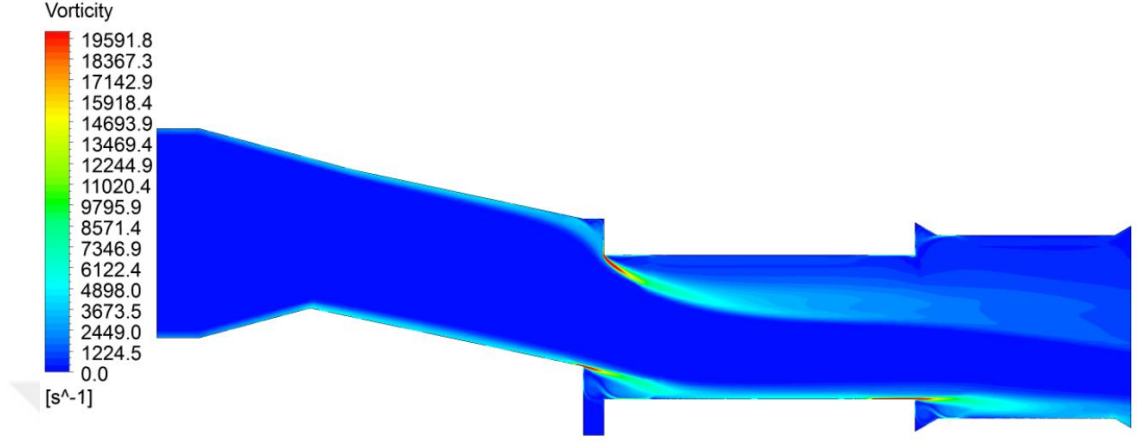


1/3 Oktav Bandı Frekans Değerleri (Hz)

Şekil 6.7. Difüzsüz sistemin akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

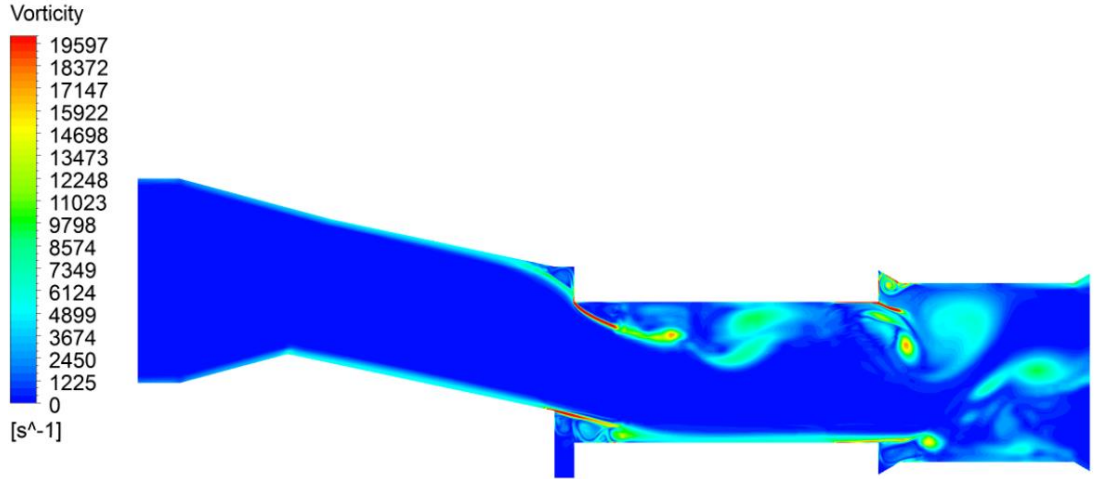
## 6.6.2. R0-R0 Difüzörlü Geometri

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.8'te görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.

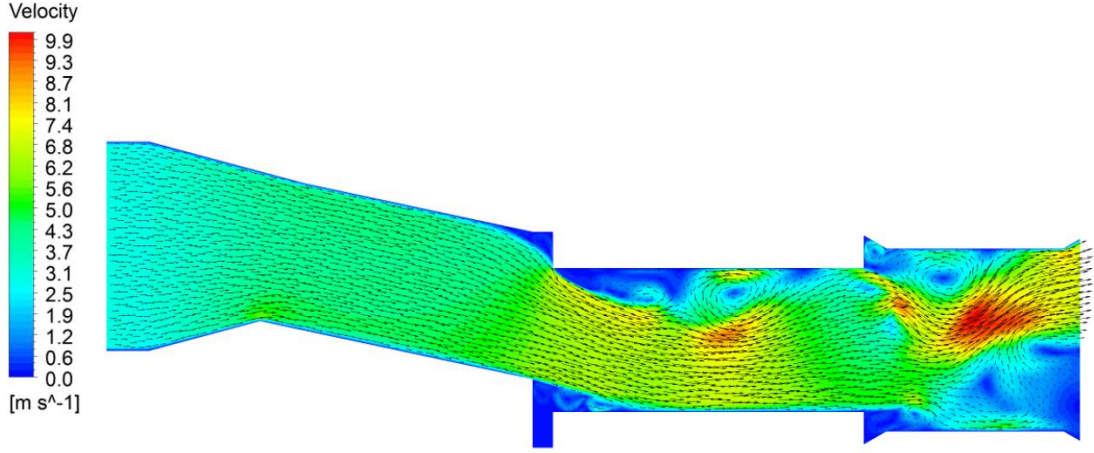


Şekil 6.8. R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi şekil 6.9'da ve şekil 6.10'da detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.



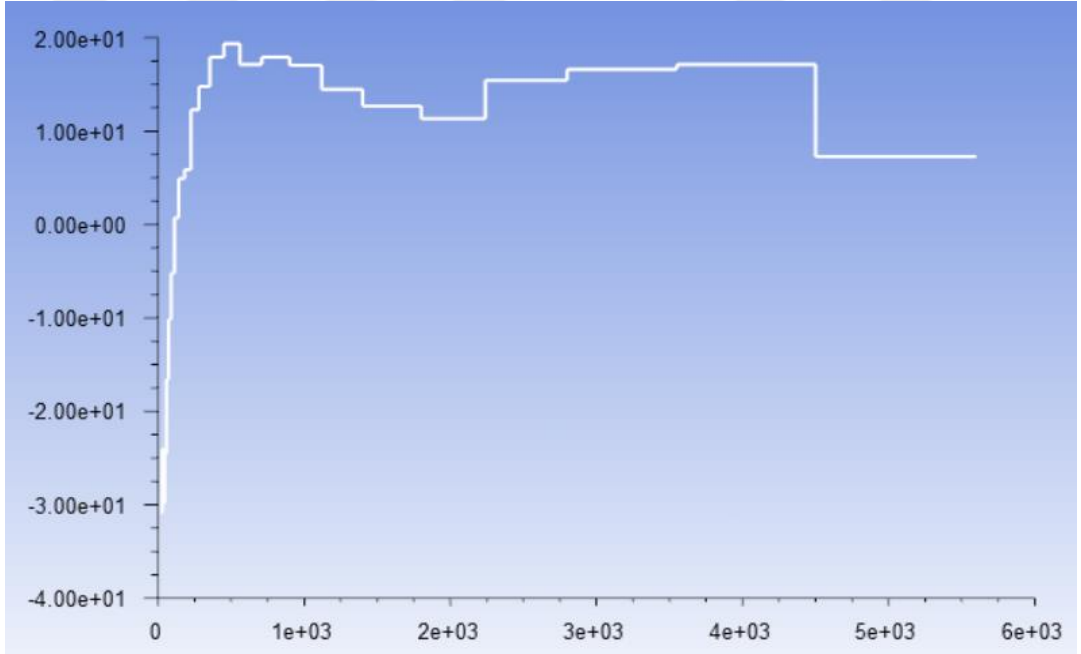
Şekil 6.9. R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES-



**Şekil 6.10.** R0-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümleme ile 31 dB değeri elde edilmiştir. Şekil 6.11’te 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.

dB

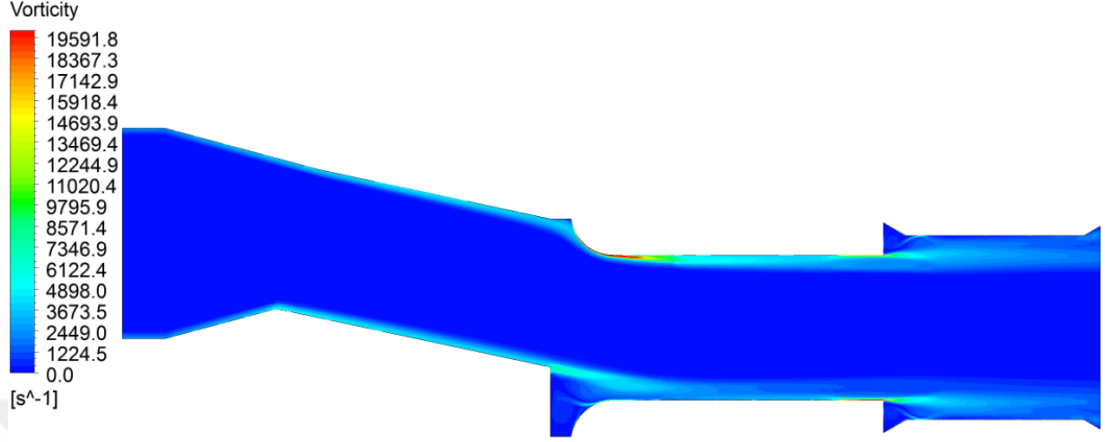


1/3 Oktav Bandı Frekans Değerleri (Hz)

**Şekil 6.11.** R0-R0 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

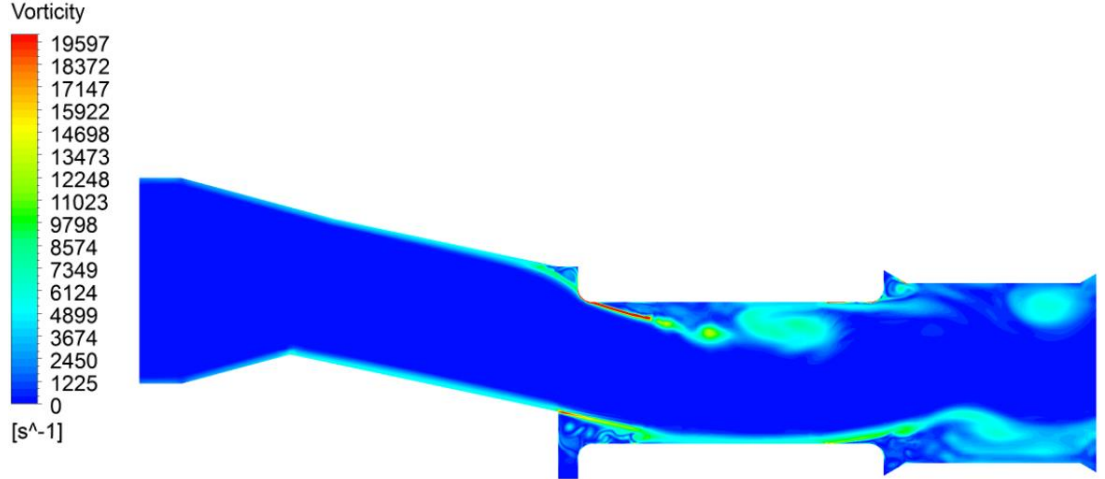
### 6.6.3. R1-R1 Difüzörlü Geometri

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.12’da görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.



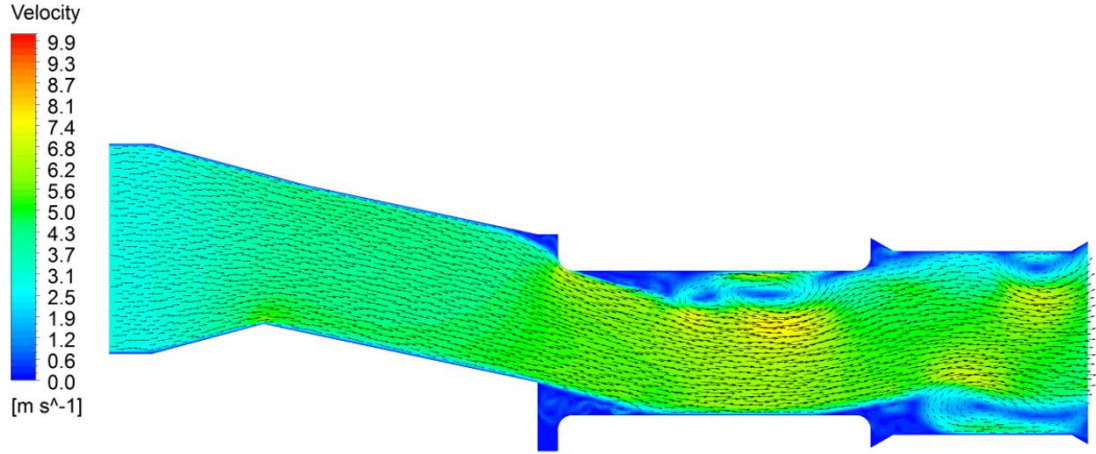
Şekil 6.12. R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi Şekil 6.13’de ve şekil 6.14’de detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.



Şekil 6.13. R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES-

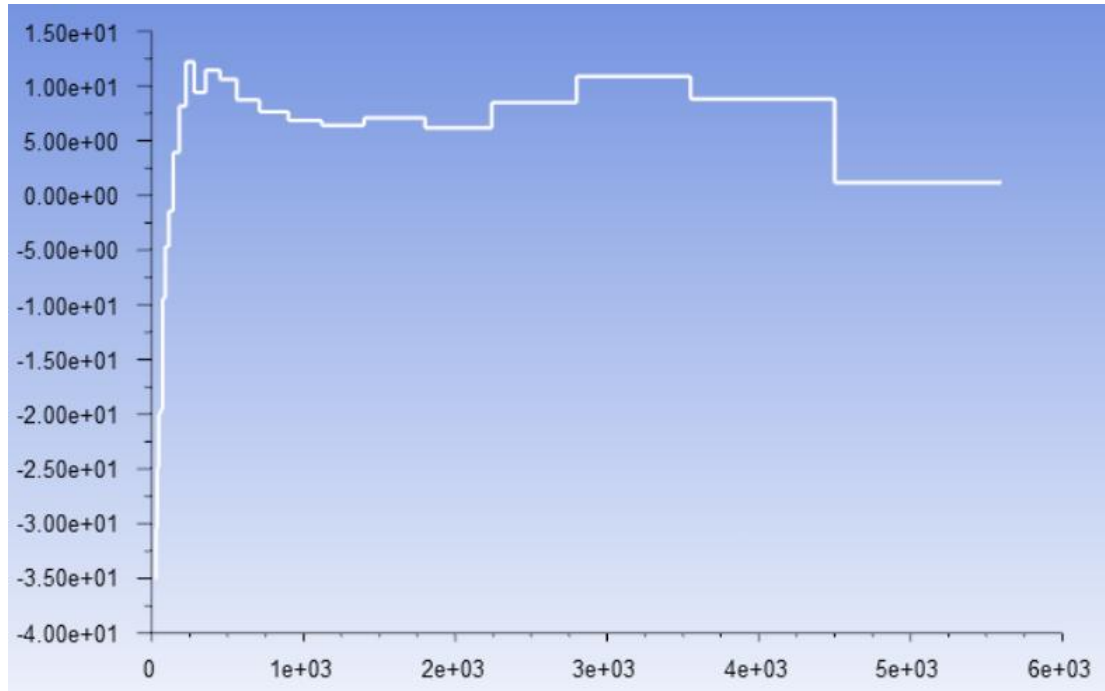




**Şekil 6.14.** R1-R1 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümleme ile 27.4 dB değeri elde edilmiştir. Şekil 6.15’de 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.

dB

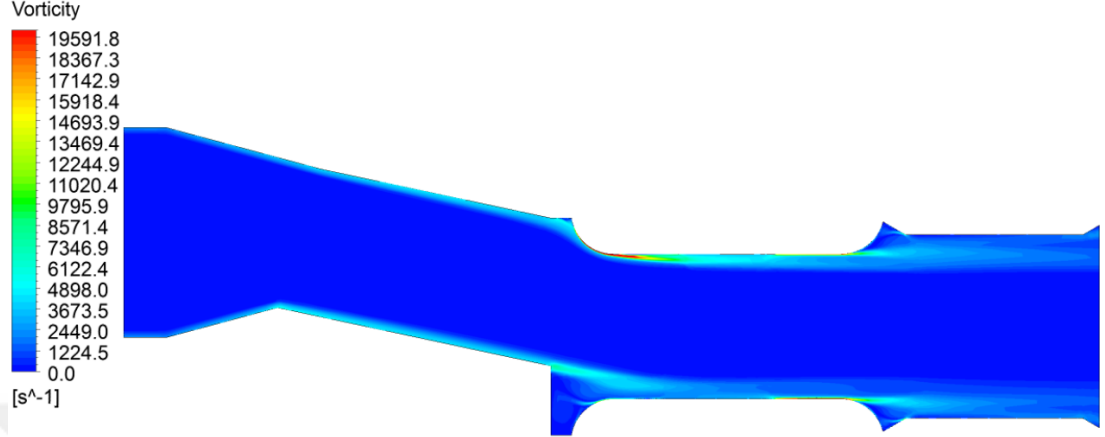


1/3 Oktav Bandı Frekans Değerleri (Hz)

**Şekil 6.15.** R1-R1 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

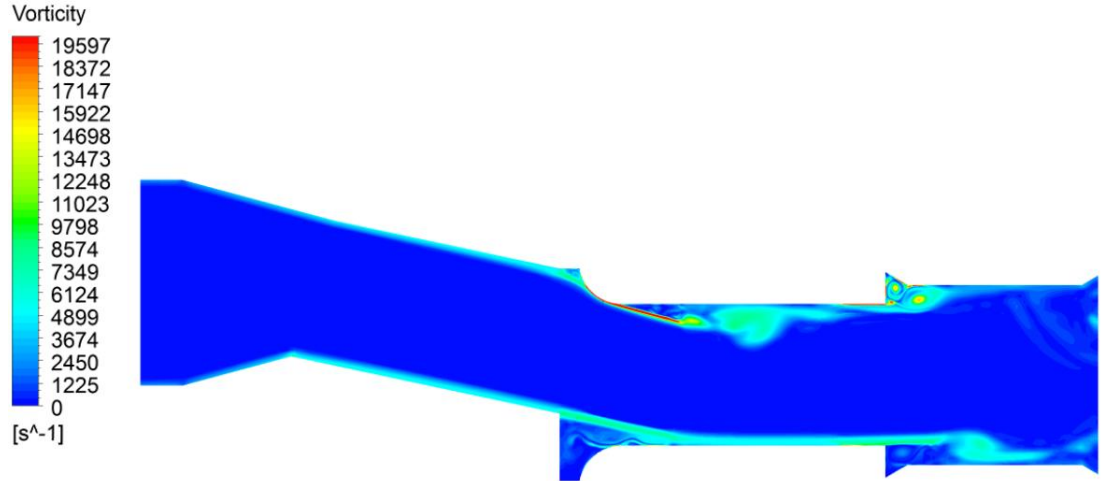
#### 6.6.4. R3-R0 Difüzörlü Geometri

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.16’da görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.

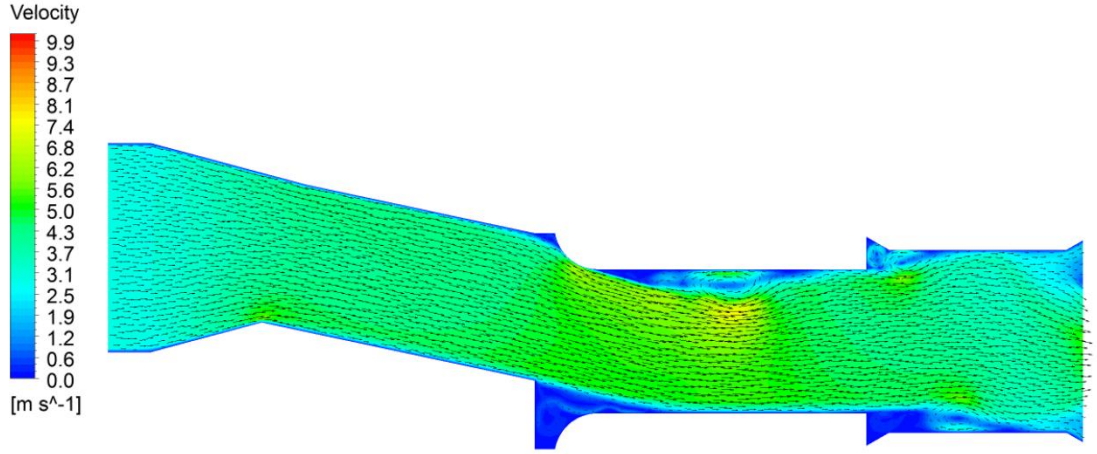


Şekil 6.16. R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi Şekil 6.17’de ve şekil 6.18’de detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.

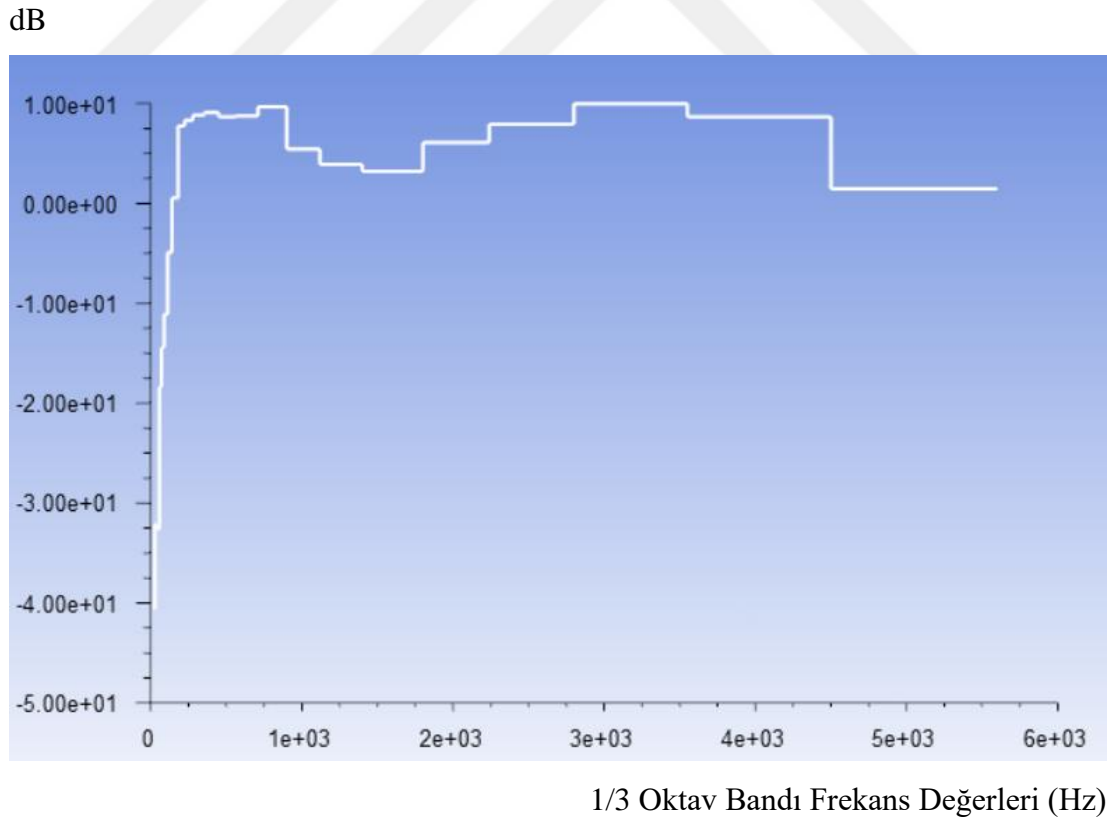


Şekil 6.17. R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES-



**Şekil 6.18.** R3-R0 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

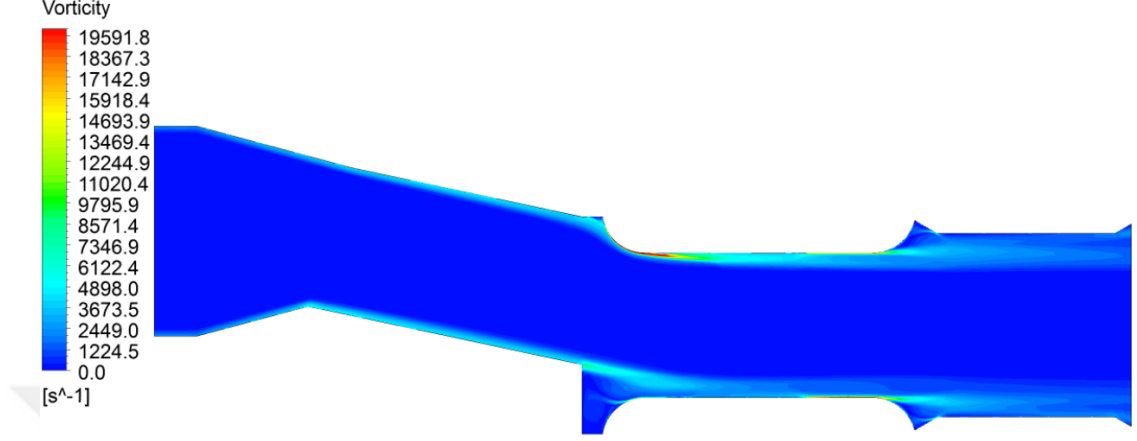
Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümleme ile 25 dB değeri elde edilmiştir. Şekil 6.19’da 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 6.19.** R3-R0 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

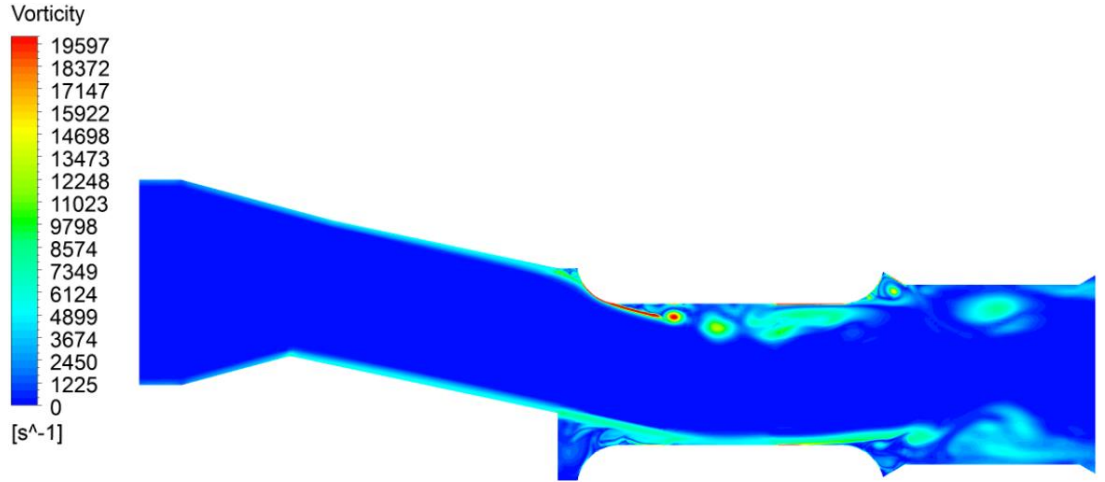
### 6.6.5. R3-R3 Difüzörlü Geometri

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.20’de görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.

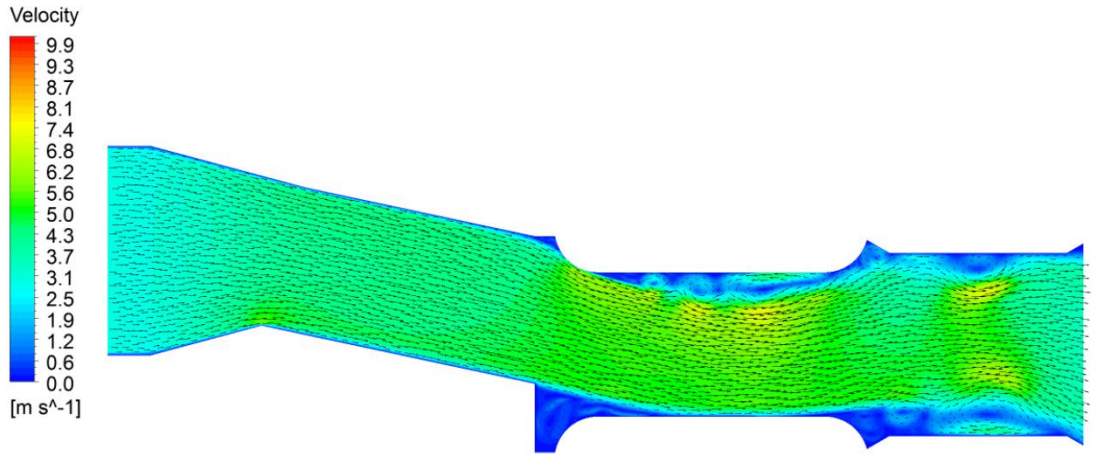


Şekil 6.20. R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi Şekil 6.21’de ve şekil 6.22’de detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.



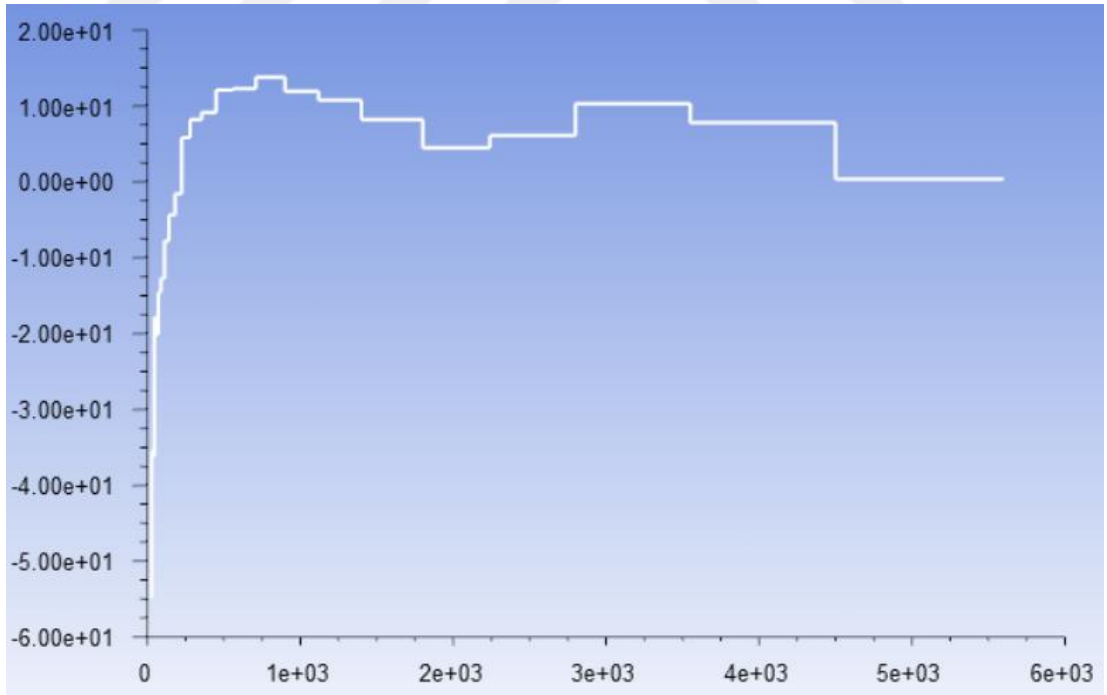
Şekil 6.21. R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES-



**Şekil 6.22.** R3-R3 difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümlerle 24.5 dB değeri elde edilmiş olup, Şekil 6.23’de 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.

dB

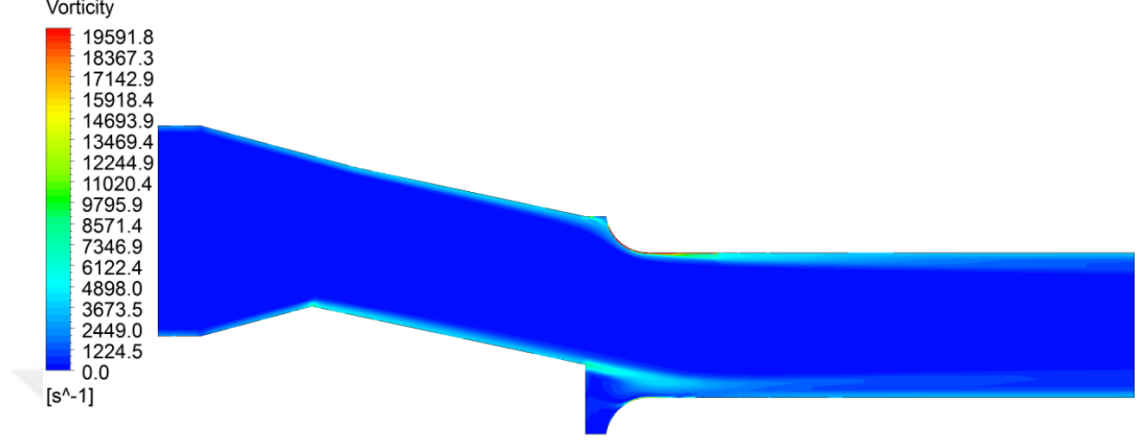


1/3 Oktav Bandı Frekans Değerleri (Hz)

**Şekil 6.23.** R3-R3 difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

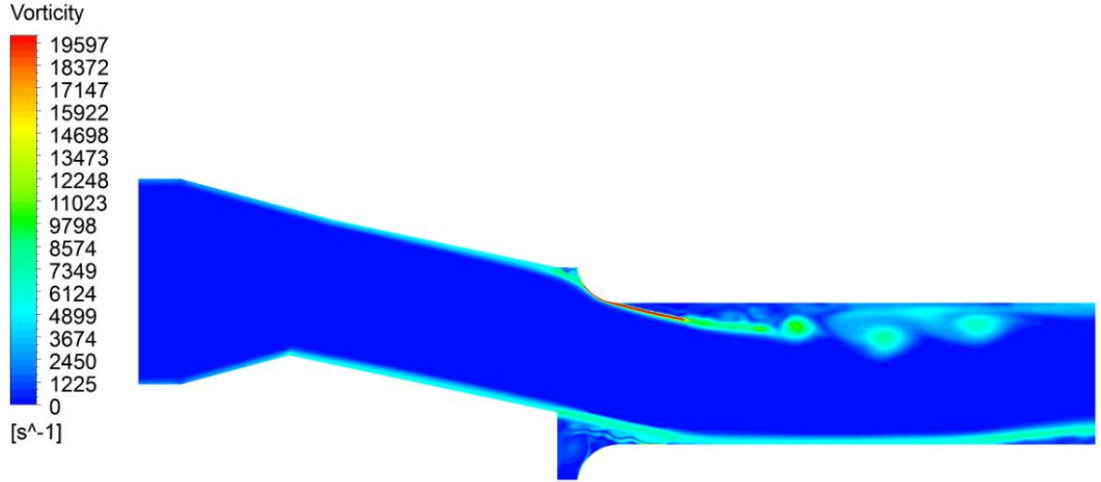
### 6.6.6. R3-R0 Uzun Difüzörlü Geometri

Analiz steady state olarak yapıldığında Şekil 6.24’de görüldüğü gibi girdap oluşumları detaylı olarak görülememektedir.



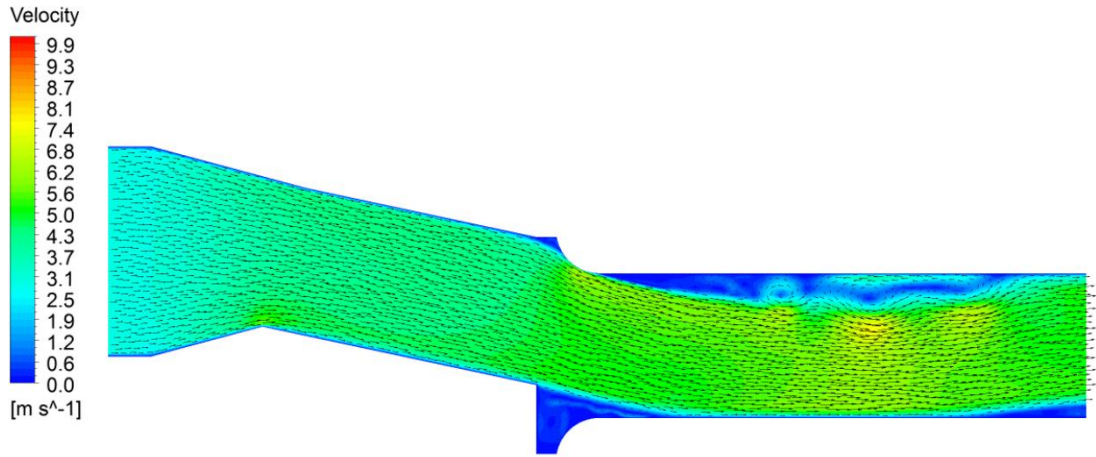
Şekil 6.24. R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları-steady state-

Analiz LES yöntemi ile çözüldüğünde girdap oluşumları beklenildiği gibi Şekil 6.25’de ve şekil 6.26’da detaylı olarak görülebilmekte ve daha doğru sonuç alınabilmektedir.



Şekil 6.25. R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları-LES-

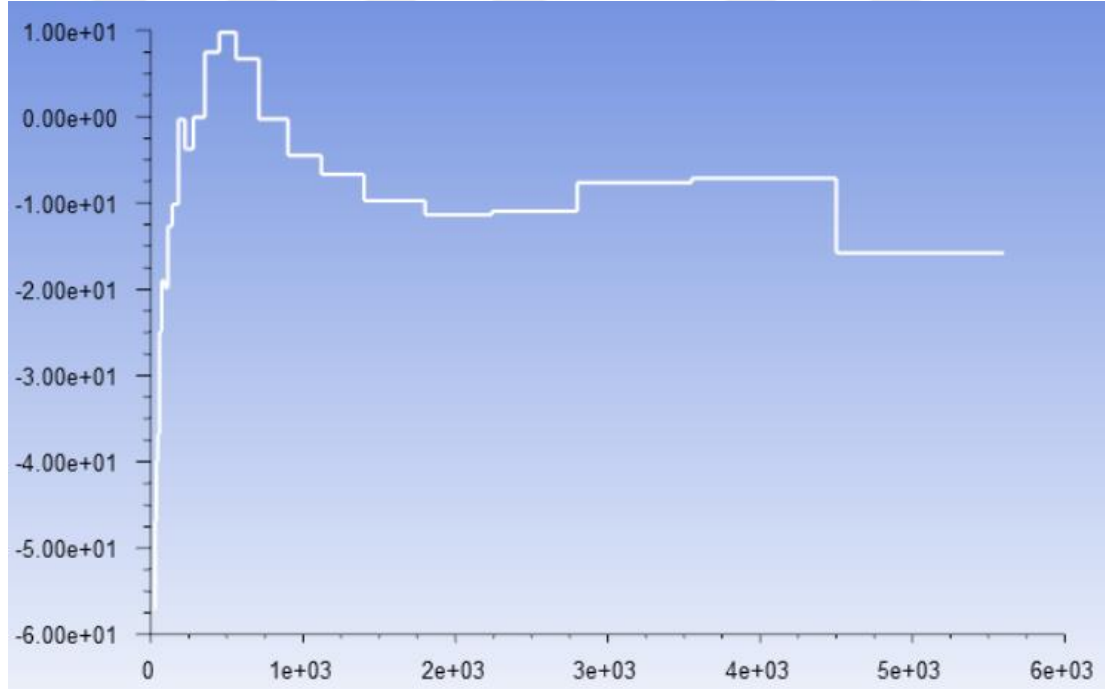




**Şekil 6.26.** R3-R0 uzun difüzör akışındaki girdap oluşumları hız vektörleri-LES-

Bu geometri ile elde edilen akış analizi sonuçlarından sonra akustik modül kullanılarak yapılan çözümleme ile 18.7 dB değeri elde edilmiş olup, Şekil 6.27’de 1/3 oktav bandında farklı frekanslarda gürültünün en çok hangi seviyelerde oluştuğu görülmektedir.

dB



1/3 Oktav Bandı Frekans Değerleri (Hz)

**Şekil 6.27.** R3-R0 uzun difüzör akışına göre frekans ses basıncı seviyesi grafiği

Yukarıda girdap oluşumunu gösteren analiz sonuçlarından da görüleceği üzere, eddy dediğimiz girdapların RANS metodu olan steady state metodu ile görülemeyeceği, bu türbülans oluşumlarının net olarak görülebilmesi için LES metodunun kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 6.1.** Geometrilere göre dB değerleri

	Difüzsüz	R0-R0	R1-R1	R3-R0	R3-R3	R3-R0 uzun
dB	38	31	27.4	25	24.5	18.7

Tablo 6.1’deki R0-R0 modeli referans modeldir.

Elde edilen sonuçlara göre; difüzör kullanılmayan banyo bataryalarında akustik değerlerin en yüksek olduğu, difüzör kullanılan banyo bataryalarında ise akustik değerlerin daha düşük olduğu görülmüştür. Difüzör kullanılan banyo bataryalarında, kendi aralarında özellikle suyun ilk temas ettiği giriş kısımlarında yuvarlatma çapı değerinin büyümesi ile akustik değerlerin azaldığı görülmüştür. En uygun akustik değer ise R3-R0 uzun difüzörün kullanıldığı bataryada görülmektedir. Bu difüzörlerden, suyun ilk temas ettiği giriş kısmındaki yuvarlatma çapı diğerlerine göre en yüksek değerdedir ve uzunluğu diğer difüzörlerden fazladır.



## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada klasik -aplike- banyo bataryalarının gürültülerinin azaltılması için bu bataryalarda kullanılan difüzör tasarımlarının iyileştirmeleri üzerinde durulmuştur.

Difüzörlerin giriş ve çıkışlarındaki su ile temas eden kısımlarının yuvarlatma yarıçap değerleri değiştirilerek eksantrik, difüzör ve nipel ile su yolları belirlenmiş olup, oluşan bu geometriler ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılarak önce türbülanslı akış, ardından akustik çözümlenmeleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, özellikle suyun difüzöre giriş tarafındaki yuvarlatma yarıçap değeri arttırıldığında, akış esnasında türbülans oluşturan girdaplar azalmış olup, oluşan gürültü değerleri beklenildiği gibi düşük seviyelere ulaşmıştır.

Yeni geliştirilen difüzör modeli olan R3-R0 uzun difüzör kullanıldığında; su, difüzörden geçtikten sonra nipele temas etmeden direk gövdeye akarak, nipelin klasik formundan dolayı oluşabilecek girdaplar yok edilmiştir, böylece asgari akustik değer bu geometri ile sağlanmıştır.

Bu çalışmaların devamı olarak, elde edilen sonuçlara göre bu geometrilerden prototip üretilip, laboratuvar ortamında banyo bataryası ile akustik testleri yapılabilir.

Bu çalışmada yapılan analizlerden yola çıkılarak, aynı tip difüzörler üç boyutlu LES yöntemi ile analiz edilebilir.

Akustik analizi çalışmaları, banyo bataryalarının diğer bileşenlerinde de (komponentleri) geometrik iyileştirmeler yapılarak ele alınabilir.

Bu çalışmalar ankastre banyo bataryalarının akustik iyileştirmeleri açısından da ele alınabilir.

Halihazırda devam eden “Banyo Bataryaları’nda Akustik Değerlerinin Düşürülmesi” isimli Tübitak projesinde bu önerilerin gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Güden, Y. Analysis and Control of Complex Flows In U-Bends Using Computational Fluid Dynamics, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2014, 101 s.
- [2] Boersma, B.J., Nieuwstadt F.T.M. Large-Eddy Simulation of Turbulent Flow in a Curved Pipe, Transactions of ASME, Al Delft, Netherlands, 1996, 248-254.
- [3] Alber, T.H., Gibbs, B.M., Fischer, H.M. Characterisation of valves as sound sources: Fluid-borne sound, Elsevier, 2011, 428-436.
- [4] Dutta, P., Saha, S.K., Nandi, N., Pal, N. Numerical Study on Flow Separation in 90° Pipe Bend Under High Reynolds Number by k- $\epsilon$  Modelling. Elsevier, 2016, 904-910.
- [5] Wim, D.R., Wim, D., Paul, S. Predicting the Aerodynamically Generated Noise in 2D-Mufflers and its Far-Field Propagation Using a Combined LES/LEE Approach. CFA/DAGA'04, Strasbourg, 2004, 835-836.
- [6] Raichel, D.R. The Science and Applications of Acoustics. Springer, Colorado, U.S.A., 2006, 660 s.
- [7] Rossing, T.D. A Brief History of Acoustic. Springer Handbook of Acoustics, New York, U.S.A., 11-27.
- [8] Barron, R.F. Industrial Noise Control and Acoustics. Marcel Dekker, U.S.A, 2003, 534 s.
- [9] Lindsay, R.B. The Story of Acoustics. Brown University, Rhode Island 02912, 1965, 629-644.
- [10] Ku, J.H. Uses and Forms of Instruments: Resonator and Tuning Fork in Rayleigh's Acoustical Experiments, Annals Of Science, Vol.66, Gyeongnam, Republic of Korea, 2009, 371-395.
- [11] Rayleigh, J.W.S. Theory of Sound I-II. Dover Publications, U.S.A., 2016, 480 s.
- [12] Özer, M. Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı. İstanbul, 1979, 144 s.
- [13] Şirel, Ş. Yapı Akustiğinde 30 Terim 30 Tanım. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü
- [14] Walker, J., Halliday D., Resnick R. Fundamentals of Physics, 10th edition. Wiley, U.S.A., 2014, 1368 s.
- [15] Grimsehl, Tomaschek, R. Fizik, Isı Bilgisi, Akustik, Balistik, MEB Ankara Fen Fakültesi Yayınları, 1946, 322 s.
- [16] TMMOB, Yalıtım. Yayın No: MMO/2005/399.

- [17] Wells, P.N.T. Lord Rayleigh: John William Strutt, Third Baron Rayleigh. IEEE Transactions On Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 54, No. 3, 2007, 591-596 s.
- [18] Özgüven, H.N. Gürültü Kontrolü, Endüstriyel ve Çevresel Gürültü, Türk Akustik Derneği, Ankara, 2008, 271 s.
- [19] Erkman, C. Tatbiki Akustik. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1954, 163 s.
- [20] Schoemaker, A., Bıdı, A. Bina İçi Tesisatlarda Gürültü Oluşumu ve Ses İzolasyonu, Özellikle Pis Su Tesisat Sistemi. IV.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 1999, 647-661.
- [21] Dinçer, S., Yalçın, S. Akustik ve Optik. Uludağ Üniversitesi Merkez Kütüphane, Bursa, 2002, 256 s.
- [22] Feynman, R. P. Feynman Fizik Dersleri, Cilt 1, Alfa Bilim, 2016, 560 s.
- [23] Yazıcı, G. Akustik ve Sürdürülebilirlik: Bir Otel Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ana Bilim Dalı, İstanbul, 2016, 201 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [24] Muehleisen, R.T. Acoustics of Green Buildings, U.S. Department of Energy. Argonne Laboratory, 2011, 69 s.
- [25] Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.14012&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=%C3%A7evresel>
- [26] Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.18568&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- [27] Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.23616&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=binalar%C4%B1n%20g%C3%BCr%C3%BClt%C3%BCye>
- [28] Acoustic in Plumbing Systems, Continuing Education from the American Society of Plumbing Engineers, CEU 192, 2012.
- [29] Issa, R.I. Solution of The Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator-Splitting, Journal of Computational Physics, 1986, 40-65.
- [30] Patankar, S.V., Baliga, B.R. A New Finite-Difference Scheme For Parabolic Differential Equations, Numerical Heat Transfer, 1978, 1-27.
- [31] Versteeg, H.K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics, 2nd Edition, England, 2007.
- [32] Jasak, H. Error Analysis and Estimation for the Finite Volume Method with Applications to Fluid Flows, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Department of Mechanical Engineering, London, 1996, 394 s.
- [33] Rösler, M. The Smagorinsky Turbulence Model, Institute of Mathematics of Freie Universität Berlin, 2015, 43 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gençay TUĞGAN  
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1982  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca  
E-posta : gencaytuggan@gmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Manisa Anadolu Meslek Lisesi, 2000  
Ön Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik M.Y.O., 2004  
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Mak. Müh. Bölümü, 2007

### Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi : Matris Metal Kalıp 2006-2008  
Kurum bilgisi : Öztürk Endüstriyel 2008-2010  
Kurum bilgisi : E.C.A. Valfsel Armatür San. A.Ş. 2013-(halen)