

# HAVALANDIRMA VE KLİMA SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ TASARIMI İLE ENERJİ TASARRUFU VE İLK YATIRIM İLİŞKİSİ

Orhan GÜRSON  
Emre GÜLER

## ÖZET

Bu çalışmada; havalandırma sistemlerinde, havalandırma, klima cihazları ve kanal ekipmanlarından kaynaklanan gürültünün kontrolünde susturucu seçiminin, gürültünün olduğu Oktav merkez band frekansının ve kanal kesitlerinin doğru belirlenmesinin sistem ilk yatırım ve işletme maliyetlerine etkisi değerlendirilmiştir. Değerlendirme, optimum seçimler ile farklı seçimler karşılaştırılarak ve değişik santral debileri göz önüne alınarak geniş bir yelpazede yapılmıştır. Bu teorik çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak, susturucunun doğru seçilmesinin ilk yatırım maliyetlerinde %1,5'ten %6,7'ye kadar değişen kazançlar, işletme giderlerinde de %24'ten %88'e kadar değişen oranlarda tasarruf sağlanabileceği irdelenmiştir. Bunun yanında, gürültünün olduğu oktav merkez band frekansının ve kanal kesitlerinin belirlenmesinde akustik sistem gereksinimlerine göre karar almanın performans ve maliyet açısından verimliliği artıracağı vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gürültü, Susturucu, Oktav Merkez Band Frekansı, Kanal Kesiti, İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Giderleri.

## ABSTRACT

In this study, the effect of ideal selection of sound attenuator, specifying octave band center frequency and appropriate duct dimension for HVAC units' and HVAC ducts' components' sound control was evaluated on investment and operating costs. The evaluation was made in wide aspect as comparing proper, different choices and taking varying air flow rates into the consideration.

Depending upon the results of this work, it is emphasized that proper sound attenuator selection provides initial cost savings from 1,5% to 6,7% and savings from 24% to 88% in operating costs. Furthermore, it is underlined that taking decision on specifying octave band center frequency and selecting duct dimensions according to the system acoustical requirements provides not only better acoustical performance but also least operating and investment costs.

**Key Words:** Noise, Sound Attenuator, Octave Band Center Frequency, Duct Section, Investment Cost, Operating Cost.

## 1. GİRİŞ

Havalandırma ve klima cihazları ile havalandırma kanallarından kaynaklanan gürültüler bina içerisinde, arka plan gürültü öğelerinden en önemlisidir. Bina içerisinde akustik konforu istenilen

seviyelerde muhafaza etmek için bu kaynakları belirli ses seviyelerini aşmayacak şekilde tasarlamak ve seçmek gerekir.

Gürültü kaynaklarını istenilen akustik konforu sağlayacak şekilde optimum düzeyde tasarlamak ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde önemli kazançlar elde edilmesini sağlamakla kalmayıp akustik açıdan istenilen ses seviyelerini sağlama konusunda da güvenilir istatistikler vermektedir.

Klima, havalandırma tesisatları tasarımında klima santrali, kanal ve kanal ekipmanlarından kaynaklanan gürültü, aşağıdaki konular dikkate alınarak kontrol edilebilir.

1. Kanala uygun susturucu tasarlamak,
2. Gürültünün olduğu oktav merkez band frekansı belirlenerek doğru çözümü sağlamak,
3. Kanal kesit ve boyutlarına akustik gereksinim doğrultusunda karar vermek.

Bina içi akustik konforu sağlama konusunda gerekli çözümlenmeleri yaparken optimum tasarım baz alınarak maliyetler en aza indirgenebilir.

## 2. HAVALANDIRMA VE KLİMA SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ TASARIMI İLE ENERJİ TASARRUFU VE İLK YATIRIM İLİŞKİSİ

### 2.1. Gürültü Kontrolü Tasarımında Susturucu Seçiminin Enerji Tasarrufu ve İlk Yatırıma Etkisi

Havalandırma ve klima cihazları ile kanal ekipmanlarından kaynaklanan gürültü kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılan susturucuların seçimlerinin doğru yapılması gerekmektedir. Gereğinden büyük, ihtiyaçtan fazla ses yutma özelliğine sahip olan susturucular ilk yatırım maliyetini artırmaktadır. Gereğinden küçük susturucuların kullanılması ise basınç kayıplarını artırarak fan ses seviyelerinin, fan enerji tüketiminin ve santral fiyatının artmasına yol açmaktadır.

Susturucu seçimleri yapılırken kanaldaki hava hızı göz önüne alınarak susturucu içerisindeki hız, kanaldaki hava hızından daha düşük olacak şekilde susturucu boyutlandırılmalıdır. Susturucunun büyük seçilmesinin ve bunun santral debisine göre ilk yatırım maliyetlerine yaptığı etki Tablo-1,2 ve 3'te belirtilmiştir.

**Tablo 1-A.** 10,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Akustik Performansları

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-1 Ses Üretimi, dB	80	86	82	87	86	86	79	73	OPTİMUM
Sus-1 Ses Üretimi, dB	39	34	30	26	23	20	17	13	
Sus-1 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	71	50	54	50	61	63	59	
Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-2 Ses Üretimi, dB	80	86	82	87	86	86	79	73	BÜYÜK
Sus-2 Ses Üretimi, dB	31	27	23	19	16	13	10	6	
Sus-2 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	71	50	54	50	61	63	59	

**Tablo 1-B.** 10,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu İlk Yatırım Maliyetleri Artış Oranları

Susturucu Boyutu	Santral	Santral İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Susturucu*	Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Santral+Susturucu	Santral+Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)
İdeal	Santral-1	-	Sus-1	-	Santral-1 + Sus-1	-
Büyük	Santral-2	**%-0.3	Sus-2	%32	Santral-2 + Sus-2	%1.5

Not:

\* Sistemde 1 adet susturucu öngörülmüştür.

\*\* (-) Santral maliyetinde azalış anlamına gelmektedir.

**Tablo 2-A.** 30,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Akustik Performansları

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-3 Ses Üretimi, dB	81	86	90	86	89	84	79	74	OPTİMUM
Sus-3 Ses Üretimi, dB	55	51	46	42	39	35	32	29	
Sus-3 Ses Yutumu, dB	-6	-17	-36	-40	-43	-35	-22	-17	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	69	55	47	47	49	57	57	

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-4 Ses Üretimi, dB	81	86	90	86	89	84	79	74	BÜYÜK
Sus-4 Ses Üretimi, dB	39	35	31	27	24	21	18	14	
Sus-4 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	76	71	58	53	53	59	63	60	

**Tablo 2-B.** 30,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu İlk Yatırım Maliyetleri Artış Oranları

Susturucu Boyutu	Santral	Santral İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Susturucu*	Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Santral+Susturucu	Santral+Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)
İdeal	Santral-3	-	Sus-3	-	Santral-3 + Sus-3	-
Büyük	Santral-4	**%-0.4	Sus-4	%109	Santral-4 + Sus-4	%6.7

Not:

\* Sistemde 1 adet susturucu öngörülmüştür.

\*\* (-) Santral maliyetinde azalış anlamına gelmektedir.

**Tablo 3-A.** 60,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Akustik Performansları

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-5 Ses Üretimi, dB	89	90	96	97	92	84	78	71	OPTIMUM
Sus-5 Ses Üretimi, dB	58	53	49	45	41	38	34	31	
Sus-5 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	84	75	64	64	56	59	62	57	

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-6 Ses Üretimi, dB	89	90	96	97	92	84	78	71	BÜYÜK
Sus-6 Ses Üretimi, dB	48	44	40	36	32	29	26	23	
Sus-6 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	84	75	64	64	56	59	62	57	

**Tablo 3-B.** 60,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu İlk Yatırım Maliyetleri Artış Oranları

Susturucu Boyutu	Santral	Santral İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Susturucu*	Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)	Santral+Susturucu	Santral+Susturucu İlk Yatırım Maliyeti Artış Oranı (%)
İdeal	Santral-5	-	Sus-5	-	Santral-5 + Sus-5	-
Büyük	Santral-6	**%-0.4	Sus-6	%60	Santral-6 + Sus-6	%2.0

Not:

\* Sistemde 1 adet susturucu öngörülmüştür.

\*\* (-) Santral maliyetinde azalış anlamına gelmektedir.

Susturucunun küçük seçilmesi durumunda, bir başka deyişle susturucu içerisindeki hava hızının kanaldaki hava hızına denk veya kanaldaki hava hızından büyük olması durumunda; susturucu ses yutan bir eleman olmasının yanında gürültü üreten bir kaynak haline de gelmektedir. Bu durumda akustik konforu sağlamak için ilave önlemler (susturucu ilavesi, izolasyon yapılması, vb.) söz konusu olmaktadır. Alınacak ilave önlemler de ilk yatırım maliyetlerini artırmaktadır. Buna ek olarak, susturucunun küçük seçilmesi kanal basınç kayıplarını da artıracığı için fanın elektrik gücünü artırmaktadır. Elektrik tüketiminin artması da işletme maliyetlerini doğrudan artırmaktadır. Tablo-4-B, 5-B ve 6-B'de susturucunun küçük seçilmesinin santralin işletme maliyetlerine etkileri belirtilmiştir.

**Tablo 4-A.** 10,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral Santral ve Susturucu Akustik Performansları

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-1 Ses Üretimi, dB	80	86	82	87	86	86	79	73	OPTIMUM
Sus-1 Ses Üretimi, dB	39	34	30	26	23	20	17	13	
Sus-1 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	71	50	54	50	61	63	59	
Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-7 Ses Üretimi, dB	80	86	82	87	86	86	79	73	KÜÇÜK
Sus-7 Ses Üretimi, dB	58	54	49	45	41	38	35	31	
Sus-7 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	71	53	55	51	61	63	59	

**Tablo 4-B.** 10,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral Santral ve Susturucu Enerji Tüketim Artış Oranları

Susturucu Boyutu	Santral	Susturucu	Santral İşletme Maliyeti Artış Oranı (%)
Optimum	Santral-1	Sus-1	-
Küçük	Santral-7	Sus-7	%24

**Tablo 5-A.** 30,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Akustik

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-3 Ses Üretimi, dB	81	86	90	86	89	84	79	74	OPTİMUM
Sus-3 Ses Üretimi, dB	55	51	46	42	39	35	32	29	
Sus-3 Ses Yutumu, dB	-6	-17	-36	-40	-43	-35	-22	-17	
Toplam Ses Üretimi, dB	75	69	55	47	47	49	57	57	

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-8 Ses Üretimi, dB	81	86	90	86	89	84	79	74	KÜÇÜK
Sus-8 Ses Üretimi, dB	68	63	59	55	51	47	44	41	
Sus-8 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	77	72	62	57	55	59	63	60	

**Tablo 5-B.** 30,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Enerji Tüketim Artış Oranları

Susturucu Boyutu	Santral	Susturucu	Santral İşletme Maliyeti Artış Oranı (%)
Optimum	Santral-2	Sus-2	-
Küçük	Santral-8	Sus-8	%37

**Tablo 6-A.** 60,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Akustik Performansları

Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-5 Ses Üretimi, dB	89	90	96	97	92	84	78	71	OPTİMUM
Sus-5 Ses Üretimi, dB	58	53	49	45	41	38	34	31	
Sus-5 Ses Yutumu, dB	-5	-15	-32	-33	-36	-25	-16	-14	
Toplam Ses Üretimi, dB	84	75	64	64	56	59	62	57	
Mekanik Ekipman	Ses Üretim Değerleri, dB								Seçim
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Santral-9 Ses Üretimi, dB	90	91	97	98	93	85	79	72	KÜÇÜK
Sus-9 Ses Üretimi, dB	73	69	64	60	56	52	49	46	
Sus-9 Ses Yutumu, dB	-6	-16	-34	-37	-40	-30	-19	-15	
Toplam Ses Üretimi, dB	84	76	67	64	58	57	60	57	

**Tablo 6-B.** 60,000m<sup>3</sup>/h Debili Santral ve Susturucu Enerji Tüketim Artış Oranları

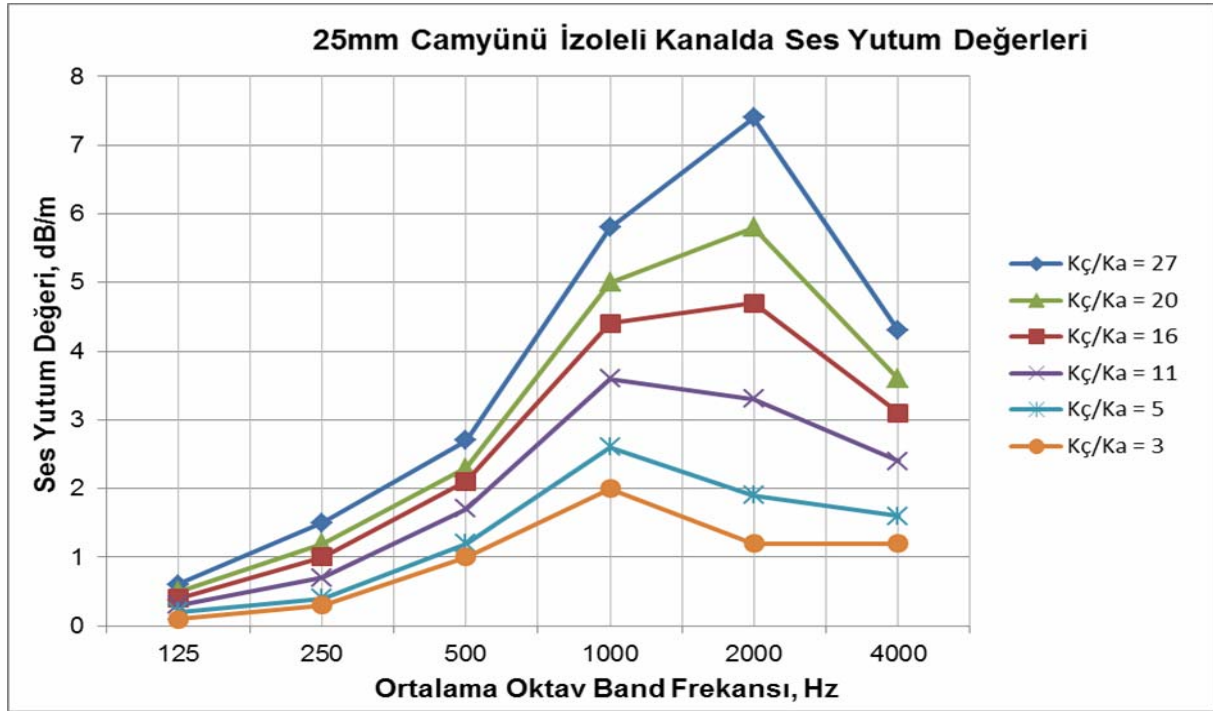
Susturucu Boyutu	Santral	Susturucu	Santral İşletme Maliyeti Artış Oranı (%)
Optimum	Santral-3	Sus-3	-
Küçük	Santral-9	Sus-9	%88

### 2.1.1. Analizde Kullanılan Ekipmanlar

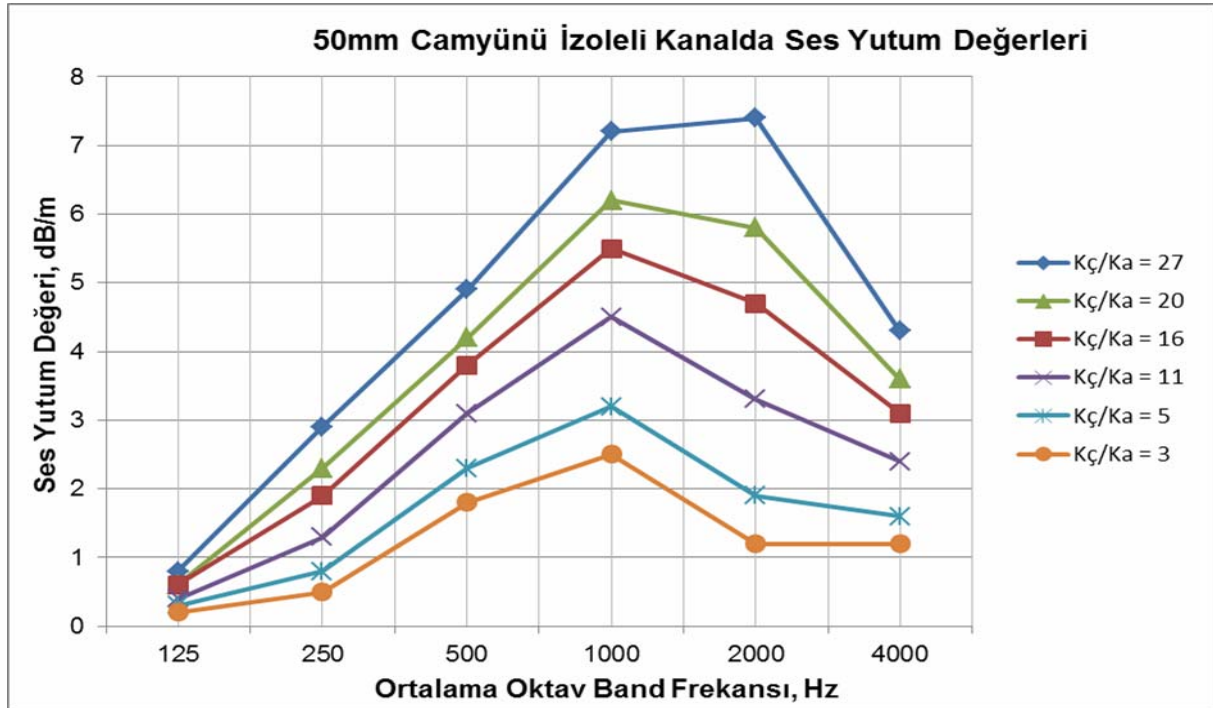
Santral-1; Santral 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, 330 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-2; Santral 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, 300 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-3; Santral 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, 330 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-4; Santral 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, 300 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-5; Santral 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, 330 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-6; Santral 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, 300 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-7; Santral 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, 500 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-8; Santral 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, 500 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Santral-9; Santral 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, 500 Pa cihaz dışı statik basınç.  
Sus-1; Susturucu 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 1500, Genişliği 1100, Boyu 1500 mm.  
Sus-2; Susturucu 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 1800, Genişliği 1300, Boyu 1500 mm.  
Sus-3; Susturucu 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 2200, Genişliği 1600, Boyu 1500 mm.  
Sus-4; Susturucu 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 3000, Genişliği 2000, Boyu 1500 mm.  
Sus-5; Susturucu 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 2400, Genişliği 2400, Boyu 1500 mm.  
Sus-6; Susturucu 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 3000, Genişliği 3000, Boyu 1500 mm.  
Sus-7; Susturucu 10,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 900, Genişliği 700, Boyu 1500 mm.  
Sus-8; Susturucu 30,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 1500, Genişliği 1000, Boyu 1500 mm.  
Sus-9; Susturucu 60,000 m<sup>3</sup>/h debili, Eni 2000, Genişliği 1500, Boyu 1500 mm.

### 2.2. Gürültü Kontrolü Tasarımında Gürültünün Oluştığı Oktav Merkez Band Frekansının Belirlenmesinin Enerji Tasarrufu ve İlk Yatırıma Etkisi

Gürültü kontrolünde, gürültünün olduğu frekanslar belirlenmeden tasarlanan hava kanalları ile istenen ses seviyeleri sağlanamayabilir. Yüksek frekanslarda akustik izolasyon ses yutumunda önemli ölçüde etkili olurken, düşük frekanslarda izolasyonsuz kanallar ses yutumunda daha etkilidir. Bir başka deyişle, santral düşük frekanslarda oda için istenilen ses seviyelerinin üzerinde bir ses oluşturuyorsa, kanallara akustik izolasyon yapmak sorunu çözümlenirken aksine maliyeti artıracaktır. Yapılan izolasyon kanallardaki pürüzlülüğü de artıracığı için kanal basınç kaybı artacak ve santral yüksek basınç kayıplarında çalışarak enerji tüketimini de artıracaktır. Bu durumda hem ilk yatırım maliyeti hem de işletme maliyetleri artacaktır. Tablo-7'de 25mm camyünü izoleli kanalların frekans bazında ses yutum eğrileri, Tablo-8'de de 50mm camyünü izoleli kanalların frekans bazında ses yutum eğrileri verilmiştir.

**Tablo 7.** 25mm Camyünü İzoleli Kanalların Frekans Bazında Ses Yutum Eğrileri [1]

Not:

Kç: Kanal Çevresi (m), Ka: Kanal Kesit alanı (m<sup>2</sup>)**Tablo 8.** 50mm Camyünü İzoleli Kanalların Frekans Bazında Ses Yutum Eğrileri [1]

Not:

Kç: Kanal Çevresi (m), Ka: Kanal Kesit alanı (m<sup>2</sup>)



Bunun yanında, yayvan kanallar aynı eş değer kanal çapına sahip kareye yakın kanallara göre daha frekans bazında daha fazla ses yutmaktadırlar. Tablo-9'da aynı eş değer çapa sahip yayvan ve kare kanalların Pd/Ad oranları verilmiştir. Pd/Ad oranı fazla olan kanallar daha fazla ses yutarlar.

**Tablo 9.** Kanal Tiplerine Göre Kç/Ka Oranları

Kanal Tipi	En mm	Yükseklik mm	Eş Değer Çap mm	Kç/Ka 1/m
Kare	400	400	437	10.00
Yayvan	200	910	437	12.20
Kare	600	600	656	6.67
Yayvan	350	1115	656	7.51
Kare	750	750	820	5.33
Yayvan	400	1570	820	6.27
Kare	900	900	984	4.44
Yayvan	450	2055	984	5.42

Not:

Kç: Kanal Çevresi (m), Ka: Kanal Kesit alanı (m<sup>2</sup>)

Kanal ebatları arttıkça izolasyonların ses yutum değerleri de azalmaktadır. Tablo-10'de 150x150mm ebatlı kanaldaki izolasyonun 910x1830mm ebatlı kanaldaki izolasyona göre ses yutumlarındaki azalış oranları belirtilmiştir.

**Tablo 10.** Camyünü İzoleli Kanalların Kanal Boyutuna Göre Ses Yutum Değerleri Azalış Oranı

Kanal Ebatı	25mm Camyünü İzoleli Kanal Ses Yutum Değeri, dB/m					
	Ortalama Oktav Band Frekansı, Hz					
mmxmm	125	250	500	1000	2000	4000
150x150	0.6	1.5	2.7	5.8	7.4	4.3
910x1830	0.1	0.3	1.0	2.0	1.2	1.2
Ses Yutum Azalış Oranı	-500%	-400%	-170%	-190%	-517%	-258%

Kanal Ebatı	50mm Camyünü İzoleli Kanal Ses Yutum Değeri, dB/m					
	Ortalama Oktav Band Frekansı, Hz					
mmxmm	125	250	500	1000	2000	4000
150x150	0.8	2.9	4.9	7.2	7.4	4.3
910x1830	0.2	0.5	1.8	2.5	1.2	1.2
Ses Yutum Azalış Oranı	-300%	-480%	-172%	-188%	-517%	-258%

Gürültünün oluştuğu frekansı belirlemenin bir başka önemi de kullanılması gereken izolasyon kalınlığını belirlemektir. Yüksek frekanslarda ses yutumu açısından 25mm ve 50mm izolasyon hiçbir fark yaratmamaktadır. 2000 ve 4000Hz ortalama oktav band frekanslarında ses yutum değerleri aynıdır. 25mm izolasyon kullanılabilir yerde 50mm izolasyon kullanılması hem ilk yatırım hem de işletme maliyetlerini artıracaktır. Tablo-11'da 25mm ve 50mm kalınlıklarında izolasyonların frekans bazında yuttukları ses seviyeleri belirtilmiştir.



**Tablo 11.** 25mm ve 50mm Kalınlıkta İzoleli Kanalların Frekans Bazında Ses Yutum Eğrileri [3]

Kanal Ebatı	25mm Camyünü İzoleli Kanal Ses Yutum Değeri, dB/m						50mm Camyünü İzoleli Kanal Ses Yutum Değeri, dB/m					
	Oktav Merkez Band Frekansı, Hz						Oktav Merkez Band Frekansı, Hz					
mmxmm	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
150x150	0.6	1.5	2.7	5.8	7.4	4.3	0.8	2.9	4.9	7.2	7.4	4.3
150x250	0.5	1.2	2.4	5.1	6.1	3.7	0.7	2.4	4.4	6.4	6.1	3.7
150x300	0.5	1.2	2.3	5.0	5.8	3.6	0.6	2.3	4.2	6.2	5.8	3.6
150x460	0.5	1.0	2.2	4.7	5.2	3.3	0.6	2.1	4.0	5.8	5.2	3.3
200x200	0.5	1.2	2.3	5.0	5.8	3.6	0.6	2.3	4.2	6.2	5.8	3.6
200x300	0.4	1.0	2.1	4.5	4.9	3.2	0.6	1.9	3.9	5.6	4.9	3.2
200x460	0.4	0.9	2.0	4.3	4.5	3.0	0.5	1.8	3.7	5.4	4.5	3.0
200x610	0.4	0.8	1.9	4.0	4.1	2.8	0.5	1.6	3.5	5.0	4.1	2.8
250x250	0.4	1.0	2.1	4.4	4.7	3.1	0.6	1.9	3.8	5.5	4.7	3.1
250x410	0.4	0.8	1.9	4.0	4.0	2.7	0.5	1.6	3.4	5.0	4.0	2.7
250x510	0.3	0.8	1.8	3.8	3.7	2.6	0.4	1.5	3.3	4.8	3.7	2.6
250x760	0.3	0.7	1.7	3.6	3.3	2.4	0.4	1.3	3.1	4.5	3.3	2.4
300x300	0.4	0.8	1.9	4.0	4.1	2.8	0.5	1.6	3.5	5.0	4.1	2.8
300x460	0.3	0.7	1.7	3.7	3.5	2.5	0.4	1.4	3.2	4.6	3.5	2.5
300x610	0.3	0.6	1.7	3.5	3.2	2.3	0.4	1.3	3.0	4.3	3.2	2.3
300x910	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2	0.4	1.2	2.9	4.1	2.9	2.2
380x380	0.3	0.7	1.7	3.6	3.3	2.4	0.4	1.3	3.1	4.5	3.3	2.4
380x560	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2	0.4	1.2	2.9	4.1	2.9	2.2
380x760	0.3	0.5	1.5	3.1	2.6	2.0	0.3	1.1	2.7	3.9	2.6	2.0
380x1140	0.2	0.5	1.4	2.9	2.4	1.9	0.3	1.0	2.6	3.6	2.4	1.9
460x460	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2	0.4	1.2	2.9	4.1	2.9	2.2
460x710	0.2	0.5	1.4	3.0	2.4	1.9	0.3	1.0	2.6	3.7	2.4	1.9
460x910	0.2	0.5	1.4	2.8	2.2	1.8	0.3	0.9	2.5	3.5	2.2	1.8
460x1370	0.2	0.4	1.3	2.7	2.0	1.7	0.3	0.8	2.3	3.3	2.0	1.7
610x610	0.2	0.5	1.4	2.8	2.2	1.8	0.3	0.9	2.5	3.5	2.2	1.8
610x910	0.2	0.4	1.2	2.6	1.9	1.6	0.3	0.8	2.3	3.2	1.9	1.6
610x1220	0.2	0.4	1.2	2.4	1.7	1.5	0.2	0.7	2.2	3.0	1.7	1.5
610x1830	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4	0.2	0.7	2.0	2.9	1.6	1.4
760x760	0.2	0.4	1.2	2.5	1.8	1.6	0.2	0.8	2.2	3.1	1.8	1.6
760x1140	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4	0.2	0.7	2.0	2.9	1.6	1.4
760x1520	0.2	0.3	1.1	2.2	1.4	1.3	0.2	0.6	1.9	2.7	1.4	1.3
760x2290	0.1	0.3	1.0	2.1	1.3	1.2	0.2	0.5	1.8	2.6	1.3	1.2
910x910	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4	0.2	0.7	2.0	2.9	1.6	1.4
910x1370	0.1	0.3	1.0	2.1	1.3	1.2	0.2	0.6	1.9	2.6	1.3	1.2
910x1830	0.1	0.3	1.0	2.0	1.2	1.2	0.2	0.5	1.8	2.5	1.2	1.2

### 2.3. Gürültü Kontrolü Tasarımında Kanal Kesitinin Enerji Tasarrufuna ve İlk Yatırım Maliyetine Etkisi

Akustik sistem tasarımında sistemin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de kanallardaki hava hızı ve dolayısıyla kanal kesitleridir. Havalandırma sistemlerinde kullanılan dikdörtgen, yuvarlak ve düz-oval kanallar akustik konfor göz önüne alınarak tasarlandığında ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından önemli getiriler sağlamaktadır. Örnek olarak; havalandırma kanallarında gürültü oluşması engellenmek isteniyorsa, dikdörtgen hava kanalı yerine yuvarlak hava kanalı tasarlanması hem yer sorunu açısından hem de maliyet açısından avantaj sağlayacaktır. Gürültü üretimi incelendiğinde yuvarlak kanallar dikdörtgen kanallara göre daha büyük hızlarda hava taşıyabilirler. Bu sayede, yuvarlak kanalları dikdörtgen kanallara kıyasla daha düşük ebatlarda tasarlamak mümkündür. Bu durum da maliyet açısından tasarrufu beraberinde getirmektedir. Tablo-12'de akustik konfora göre hava kanallarında olması gereken hızlar verilmiştir:

**Tablo 12.** Akustik Konfora Göre Tavsiye Edilen Maksimum Kanal Hava Hızları [2]

Kanal Yerleşimi	Tasarım RC (N)	Maksimum Hava Hızı, m/s	
		Dikdörtgen Kanal	Yuvarlak Kanal
Şaft içerisinde veya asma tavan arasında	45	17.8	25.4
	35	12.7	17.8
	25	8.6	12.7
Asma akustik tavan arasında	45	12.7	22.9
	35	8.9	15.2
	25	6.1	10.2
Mahal içerisinden geçen kanalda	45	10.2	19.8
	35	7.4	13.2
	25	4.8	8.6

Kanal kesitleri ses yutumu açısından incelendiğinde düz-oval kanallar dikdörtgen kanallara göre daha fazla ses yutum özelliğine sahiptir. Bu durum, dikdörtgen kanallarda akustik konforu sağlamak adına düz-oval kanallara kıyasla ek önlemler (kanal izolasyonu, susturucu ekleme,vb.) gerektiğini göstermektedir. Sisteme eklenen ilave önlemler de ilk yatırım ve işletme maliyetlerini artıracaktır. Tablo-13'te dikdörtgen ve düz-oval kanalların ses yutum değerleri verilmiştir.

**Tablo 13.** Dikdörtgen ve Düz-Oval Kanallarda Frekans Bazında Ses Yutum Değerleri [4]

Dikdörtgen Kanal

Kanal Ebatı	İzolesiz Dikdörtgen Kanalda Ses İletim Kaybı, dB/m							
	Oktav Merkez Band Frekansı, Hz							
mmxmm	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
305x305	21	24	27	30	33	36	41	45
305x610	19	22	25	28	31	35	41	45
305x1220	19	22	25	28	31	37	43	45
610x610	20	23	26	29	32	37	43	45
610x1220	20	23	26	29	31	39	45	45
1220x1220	21	24	27	30	35	41	45	45
1220x2440	19	22	25	29	35	41	45	45

## Düz-Oval Kanal

Kanal Ebatı	İzolesiz Düz-Oval Kanalda Ses İletim Kaybı, dB/m							
	Oktav Merkez Band Frekansı, Hz							
mmxmm	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
305x150	31	34	37	40	43	-	-	-
610x150	24	27	30	33	36	-	-	-
610x305	28	31	34	37	-	-	-	-
1220x305	23	26	29	32	-	-	-	-
1220x610	27	30	33	-	-	-	-	-
2440x610	22	25	28	-	-	-	-	-
2440x1220	28	31	-	-	-	-	-	-

Havalandırma kanalının akustik performansı; kanalın dikdörtgen, yuvarlak veya düz-oval olarak tasarlanmasına göre değişkenlik gösterdiği gibi kanal kesitine göre de değişiklik göstermektedir. Genel olarak havalandırma kanallarında, kanal kesitlerinin artışına bağlı olarak ses yutum değerleri de azalmaktadır. Örneğin, ses üretimini azaltmak için kanal kesitlerinin büyütülmesi bir çözüm olarak düşünülebilir; ancak kanal boyutunun artması sebebiyle ses yutumu da azalacaktır. Bu durum hem kanal maliyetlerini artıracak hem de ses yutumunun azalması sebebiyle, istenilen ses seviyesinin sağlanacağı garantisini verememektedir. Bu sebepten, sistemde gereksinim duyulan ses yutumu, kullanılacak gürültü kontrolü metodlarının optimize edilmesiyle belirlenmelidir. Tablo-14'te izolesiz kanalların, Tablo-15'te izoleli kanalların; artan kanal boyutuna göre frekans bazında yuttukları ses seviyeleri verilmiştir.

**Tablo 14.** İzolesiz Kanalların Frekans Bazında, Kanal Boyutuna Göre Ses Yutum Değerleri [2]

Kanal Ebatı	P/A	İzolesiz Kanalda Ses Yutum Değerleri, dB/m			
		Oktav Merkez Band Frekansı, Hz			
mmxmm	1/mm	63	125	250	>250
150x150	0.26	0.98	0.66	0.33	0.33
305x305	0.13	1.15	0.66	0.33	0.20
305x610	0.1	1.31	0.66	0.33	0.16
610x610	0.07	0.82	0.66	0.33	0.10
1220x1220	0.03	0.49	0.33	0.23	0.07
1830x1830	0.02	0.33	0.33	1.60	0.07

**Tablo 15.** 25mm Cam Yünü İzoleli Kanalların Frekans Bazında, Kanal Boyutuna Göre Ses Yutum Değerleri [2]

Kanal Ebatı	25mm Camyünü İzoleli Kanal Ses Yutum Değeri, dB/m					
	Oktav Merkez Band Frekansı, Hz					
mmxmm	125	250	500	1000	2000	4000
150x150	0.6	1.5	2.7	5.8	7.4	4.3
150x250	0.5	1.2	2.4	5.1	6.1	3.7
150x300	0.5	1.2	2.3	5.0	5.8	3.6
150x460	0.5	1.0	2.2	4.7	5.2	3.3
200x200	0.5	1.2	2.3	5.0	5.8	3.6
200x300	0.4	1.0	2.1	4.5	4.9	3.2
200x460	0.4	0.9	2.0	4.3	4.5	3.0
200x610	0.4	0.8	1.9	4.0	4.1	2.8
250x250	0.4	1.0	2.1	4.4	4.7	3.1
250x410	0.4	0.8	1.9	4.0	4.0	2.7
250x510	0.3	0.8	1.8	3.8	3.7	2.6
250x760	0.3	0.7	1.7	3.6	3.3	2.4
300x300	0.4	0.8	1.9	4.0	4.1	2.8
300x460	0.3	0.7	1.7	3.7	3.5	2.5
300x610	0.3	0.6	1.7	3.5	3.2	2.3
300x910	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2
380x380	0.3	0.7	1.7	3.6	3.3	2.4
380x560	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2
380x760	0.3	0.5	1.5	3.1	2.6	2.0
380x1140	0.2	0.5	1.4	2.9	2.4	1.9
460x460	0.3	0.6	1.6	3.3	2.9	2.2
460x710	0.2	0.5	1.4	3.0	2.4	1.9
460x910	0.2	0.5	1.4	2.8	2.2	1.8
460x1370	0.2	0.4	1.3	2.7	2.0	1.7
610x610	0.2	0.5	1.4	2.8	2.2	1.8
610x910	0.2	0.4	1.2	2.6	1.9	1.6
610x1220	0.2	0.4	1.2	2.4	1.7	1.5
610x1830	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4
760x760	0.2	0.4	1.2	2.5	1.8	1.6
760x1140	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4
760x1520	0.2	0.3	1.1	2.2	1.4	1.3
760x2290	0.1	0.3	1.0	2.1	1.3	1.2
910x910	0.2	0.3	1.1	2.3	1.6	1.4
910x1370	0.1	0.3	1.0	2.1	1.3	1.2
910x1830	0.1	0.3	1.0	2.0	1.2	1.2

## SONUÇ

Optimum susturucu seçiminin, gürültünün olduğu oktav merkez band frekansının ve akustik ihtiyaca göre kanal boyutlarını belirlemenin ilk yatırım ve işletme maliyetlerine olan etkisi incelendiğinde aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

- Optimum susturucu seçiminin yapıldığı sistemlerde ilk yatırım maliyetlerinde %1.5'ten %6.7'ye kadar değişen oranlarda azalma irdelenmiştir.
- Optimum susturucu seçiminin yapıldığı sistemlerde işletme giderlerinde %24'ten %88'e kadar değişen oranlarda azalma gözlenmiştir.
- 250Hz ile 4000Hz arasındaki frekanslarda akustik izolasyonun ses yutumunda etkili olduğu, buna rağmen düşük frekanslarda akustik izolasyonun, izolasyon kalınlığına bağlı olarak, ses yutumunda önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
- Aynı eş değer çapa sahip yayvan kanallar, kareye yakın kesite sahip kanallara oranla daha fazla ses yutmaktadır.
- 2000Hz ile 4000Hz arasında 25mm ve 50mm izolasyona sahip kanalların aynı ses yutum değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Yuvarlak kanalların dikdörtgen kanallara göre daha yüksek hızlarda, aynı akustik konfor parametrelerini sağlayarak tasarım yapılmasına imkan verdiği tespit edilmiştir.
- Düz-oval kanalların dikdörtgen kanallara göre daha fazla ses yuttuğu tespit edilmiştir.
- Kanal boyutunu büyütmenin ses yutumunu da azalttığı belirlenmiştir.
- Akustik izolasyon kalınlıklarının kanal boyutlarına dikkat edilerek tasarlanması gerekliliği belirtilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] CIBSE Guide B5 Noise and vibration control for HVAC.
- [2] ASHRAE Handbook HVAC Applications 2007.
- [3] ASHRAE Handbook HVAC Fundamentals 2005
- [4] HVAC Sistemleri için Ses ve Titreşim Kontrolü, Mark E. Schaffer, 1993

## ÖZGEÇMİŞ

### Orhan GÜRSON

1968 yılı Kırşehir doğumludur. 1991 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Sırasıyla, İlke Mühendislik Limited Şirketi'nde Alarko A.Ş.'nde, MNG Tesisat A.Ş.'nde, Ersel A.Ş.'nde görev yapmıştır. 1997 yılından itibaren serbest mühendis-müşavir olarak kendi firmasında tasarım mühendisi olarak görev yapmaktadır. Kongre merkezleri, TV stüdyoları, senfoni orkestraları salonları ve bunun gibi akustik konfor seviyesi yüksek projelerde proje müellifi olarak çalışmıştır.

### Emre GÜLER

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2007–2009 yılları arasında GMD mühendislik'te makina mühendisi olarak görev yapmıştır. Konser ve konferans salonları gibi akustik konfor seviyesi yüksek projelerde tasarım mühendisi olarak görev yapmıştır. 2009 yılından itibaren Gürson Mühendislik'te tasarım mühendisi olarak görev yapmaktadır. Klima, havalandırma tesisatı, yangın tesisatı ve sıhhi tesisat konularında çalışmaktadır.