

## UYGUN SES YALITIM MALZEMESİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK SİMÜLASYON TABANLI YAKLAŞIM

Rümeysa TÜRK<sup>1</sup>, Kübra KELLEÇİ<sup>2\*</sup>, Sevil ÖZER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1025-9799>

<sup>2</sup> Biyomühendislik Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9409-2254>

<sup>3</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0186-763X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Gürültü Ses Yalıtımı Ses Yalıtım Modeli Nümerik Analiz Yalıtım Malzemeler	<i>Malzemeye ait ses geçiş kaybı değerinin bilinmesi, yalıtım malzemesinin yeterliliği hakkında bilgi vermektedir. Ses geçiş kaybının matematiksel hesaplama modellerine dayalı olarak belirlenmesi deneysel uygulamalara göre önemli ölçüde zaman ve maliyeti azaltmaktadır. Bu çalışmada ses yalıtımı için PYTHON programı kullanılarak ses geçiş kaybı değeri hesaplanmış ve deneysel olarak daha önce yapılan 7 farklı malzeme ile karşılaştırılmıştır. Böylece geliştirilen model ile hem tek bölmeli hem de çok bölmeli ortam için uygun ses yalıtım malzeme seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada malzemeye ait yoğunluk, kalınlık, poisson oranı, elastisite modülü, sesin havadaki hızı ve iç kayıp faktörü dikkate alınarak frekansa karşı ses geçiş kaybı değerleri tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile kıyaslanarak modelin etkinliği ve doğruluk değerleri test edilmiştir.</i>

## SIMULATION-BASED APPROACH TO DETERMINING SUITABLE SOUND INSULATION MATERIAL

Keywords	Abstract
Noisy Sound insulation Sound Insulation Model Numerical Analysis Insulation Materials	<i>Knowing the sound transmission loss value of the material provides information about the adequacy of the insulation material. Determination of sound transmission loss based on mathematical calculation models significantly reduces time and cost compared to experimental applications. In this study, the sound transmission loss value was calculated using the PYTHON program for sound insulation and was compared experimentally with 7 different materials previously made. Thus, with the developed model, it is aimed to select the appropriate sound insulation material for both single-compartment and multi-compartment environments. In the study, sound transmission loss values against frequency were determined by taking into account the material's density, thickness, Poisson Ratio, elasticity modulus, speed of sound in air and internal loss factor. The effectiveness and accuracy of the model were tested by comparing it with experimental results.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 09.02.2024

: 15.08.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 09.02.2024

: 15.08.2024

\* Sorumlu yazar: [kubragkelleci@gmail.com](mailto:kubragkelleci@gmail.com)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1434413>

### 1. Giriş

Gürültü, kişiden kişiye ve farklı zamanlarda dahi farklı algılanabilen istenmeyen ve rahatsız edici bir ses türüdür. Sesin varlığı ölçülebilir ve nesnel bir kavram iken, gürültü öznel bir nitelik taşır ve bir sesin gürültü olarak algılanıp algılanmayacağı kişisel tercihlere bağlıdır. Uluslararası standartlara göre, işitme sistemi üzerinde zararlı etkileri olan gürültü seviyesi, 100 ila 10.000 Megahertz (Mhz) ve 85 desibel (dB) aralığında bulunur [Badaud vd.,2022]. Günümüzde erişkinlerde

karşılaşılan en önemli işitme kaybı nedenlerinden biri olmasının yanı sıra, en yaygın görülen meslek hastalığı olma özelliğini de göstermektedir. Gürültünün bireyde fizyolojik, psikolojik, fiziksel ve performans üzerine etkilerinin bulunmasının yanı sıra insanın vücut dengesini bozduğu da bilinmektedir.

Gürültünün insan sağlığına etkilerini en aza indirebilmek için uygun ses yalıtım malzemesi seçimi oldukça önemlidir. Sesin yüzeyle etkileşiminde yüzeye gelen ses enerjisinin (E<sub>i</sub>), bir kısmı yansır (E<sub>r</sub>), bir kısmı



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

yüzey tarafından tutulur ( $E_a$ ) ve bir kısmı ise iletilir ( $E_t$ ). Denklem 1 ve 2 kullanılarak ses yutma katsayısı hesap edilir [Karaağaçlıoğlu,2012] :

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (1)$$

Ses yutma katsayısı ( $\alpha$ ) ise:

$$\alpha = (E_i - E_r) / E_i \quad (2)$$

$$\alpha = (E_a + E_t) / E_i \quad (3)$$

Denklem 3'de yansımının olmadığı şartlar için kabul edilen ses yutma katsayısını hesaplamaktadır [Karaağaçlıoğlu,2012].  $\alpha$  ile gösterilen ses yutma katsayısı 0 ile 1 arası frekans değerleri olarak malzemenin yalıtım kalitesini belirlemektedir. Ses yutma kaybının değerinin 0 olması yüzeyin tamamen yansıtıcı olduğu, 1 olması ise malzemenin en iyi kalitede gelen ses enerjisini yutan yüzeye sahip olduğunu belirtmektedir [Karaağaçlıoğlu,2012]. İnsan kulağının algıladığı oktavlar dikkate alındığında,  $\alpha_{250}$ ,  $\alpha_{500}$ ,  $\alpha_{1000}$ ,  $\alpha_{2000}$  için gürültü azaltma katsayısı (NRC)'si en yüksek olan malzeme en iyi yalıtım malzemesi olarak kabul edilmektedir [Atef vd.,2022]. Denklem 4'de NRC teriminin formüle edilmiş hali gösterilmektedir.

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4 \quad (4)$$

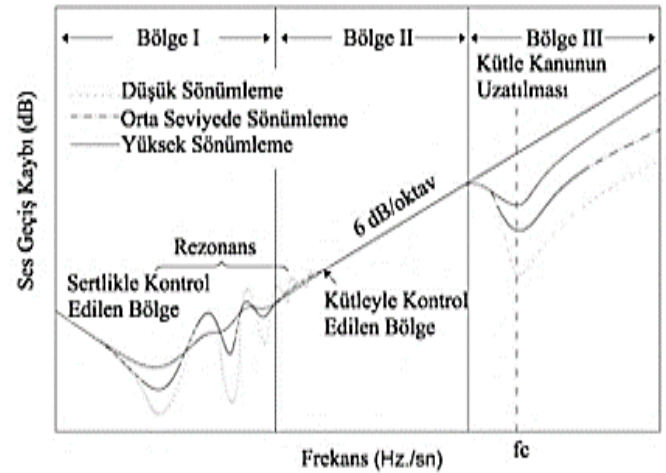
Sesin yalıtılabilmesi, malzemenin yoğunluğu ile doğru orantılıdır [Eroğlu vd.,2004]. Ayrıca malzemeye ait ses geçiş kaybı (TL) değerlerinin bilinmesi de seçilecek yalıtım malzemesinin yeterliliği hakkında bilgi verecektir. Malzemenin TL değerinin yüksek olması, yalıtım için yüksek uygunluk sağladığını ifade etmektedir. Ses yalıtımında iletilen dalganın büyüklüğünün hesaplanmasında  $\tau$  ve TL değerlerinden yararlanılmaktadır. Ses geçiş katsayısı olarak bilinen  $\tau$  değeri bölmeye iletilen sesin, bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ile bulunmaktadır. Bir yalıtım malzemesinde TL değerinin hesaplanması  $\tau$  değerine bağlı olarak denklem 5 ve denklem 6'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$TL = 10 \log (1/\tau) \text{ dB} \quad (5)$$

$$TL = 10 \log \left( \frac{\text{Bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{Bölmeden iletilen sesin şiddeti}} \right) \quad (6)$$

TL değeri, ses geçişine ek olarak frekansa da bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu değer, 0 ile 1 arasında değişen bir ölçüdür.  $\tau$  değeri, malzemenin sesi ne kadar geçirdiğini belirtir; 0, sesin hiçbir şekilde geçmediğini, 1 ise tamamen geçtiğini ifade eder. Genel olarak,  $\tau$

değerinin 0.4 olması, iletilen ses enerjisinin %40'ının geçtiğini gösterir [Demirkale, 1999]. TL değerinin belirlenmesinde frekans ve malzeme özellikleri etkili faktörlerdir. Şekil 1'de ses dalgasının ortamdaki davranışına bağlı olarak TL değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde, düşük frekanslarda malzemenin sertliği etkili olduğu görülmektedir. "Frekans yükseldiğinde ve rezonans bölgesine girildiğinde, malzemenin sönümlenmesi TL değerini etkiler. Orta frekans aralığında ise TL değeri malzemenin kütlelerine bağlı olarak değişir [Laman ve Keskin, 2004].



Şekil 1. Ses dalgasının ortamdaki hareketine bağlı olarak malzeme özelliğinin belirlenmesi [Demirkale, 2008]

Literatürdeki çalışmalar genellikle malzemenin TL değerlerinin hesaplanmasını konu almaktadır. TL değerinin teorik tespiti için yapılan ilk çalışmada (Dym and Lang,1974), araştırmacılar sandviç panellerde TL değerlerini hesaplamıştır. Ford ve ekibi (1967) sandviç panellerin simetrik olma ve olmama durumuna göre farklı eşitlikler türetilerek literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmış ve hesaplamaların kabul edilebilir olduğunu ispatlamışlardır. Tek katmanlı ve çok katmanlı panellerde kullanılan polimerik malzemelerin TL değerini tespit etmek için analitik bir yöntem kullanan Homsı (2003), düşük frekanslarda yöntemin başarılı olduğunu belirtmiştir. Benzer başka bir çalışmada tek ve çok katmanlı panellerde cam, çelik ve beton bazlı malzemelerin TL değerleri teorik ve deneysel olarak belirlenerek karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre teorik modelin etkili olduğu belirtilmiştir (Tadeu vd.,2003). 2016 yapılan bir çalışmada 11 farklı malzeme için ses azaltım indisi teorik olarak belirlenmiş ve literatürde yer alan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Aksoylu vd.,2016). Literatürde yer alan deneysel çalışmalar standartlarda belirtilen laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak 1/3 oktav band frekansları (125-4000Hz) dikkate alınarak yapılmıştır (Demirkale,2008).

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen uygulama yöntemleri ile deneysel çalışmaları destekleyen ve etkili sonuçlar ortaya koyan simülasyon çalışmaları literatürde yer almaktadır [Atef vd.,2022]. Simülasyon çalışmaları ile farklı yalıtım malzemelerinin belirli değer ve modeller ile kıyaslanması ve uygun malzemenin seçimi mümkündür.

Bu çalışmada, insan sağlığını tehdit eden dış ve iç etkenlerin oluşturduğu gürültüler, farklı ortamlarda oluşan gürültü oranları ve insan sağlığını olumsuz etkileyen ses aralıkları belirlenerek ihtiyaç duyulan ses yalıtım malzemelerinin ortama uygunluk oranları tespit edilmiştir. PYTHON programı ile gerçekleştirilen tasarımda, TL değerleri hesaplanarak uygun malzeme seçimi yapılmasına olanak sağlanmıştır. Kullanılan modelin doğruluk yüzdesi, her model için malzemelere ait doğruluk değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada akustik modeller kullanılarak PYTHON programı ile ses yalıtım malzemesini uygun şartlar altında tercih edilebileceği bir program tasarımı yapılmıştır. Bu program tasarımı sonucunda uygun veriler elde edilerek grafik ve tablolarla oluşturulmuştur. Ortama veya cihaza uygun yalıtım malzemesinin seçimini yaparken AKUZOFT yazılım modelinden yararlanılmıştır. Bu model sayesinde uygun ortam için yalıtım malzemeleri grafiksel ve tablo olarak karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Akuzoft Modeli

Ses yalıtım modeli olan Akuzoft (Marco,2010), akustik denklemlerin çözümlenmesi için Matlab'de geliştirilmiş grafiksel bir hesaplama modelidir. Bu model ile yalıtım malzemelerinin TL değerleri hesaplanabilmektedir. Akuzoft modeli malzemelerin TL değerinin hesaplanmasında bazı verileri dikkate almaktadır. Bu veriler; Kalınlık (h), Yoğunluk ( $\rho$ ), Yüzey Kütlesi (m"), Kritik frekans ( $f_c$ ), Boyuna Dalga Hızı (CL), İç kayıp faktörü ( $\eta$ int), Elastisite Modülü (E) ve Havanın yoğunluğu ( $\rho_0$ )'dur.

**Tek Bölmeli Ortamda Ses İletimi:** Ses dalgaları belirli frekanslarda yayılma gösterdiğinden her frekans değeri önem arz etmektedir. TL hesabı yapılırken dikkate alınması gereken frekans aralığı 125-4,000 Hz (1/3 oktav band) olmalıdır. TL hesabında diğer önemli parametreler ise sesin havadaki hızı (c) ile hesaplanan kritik frekans değeridir. Denklem 7' de kritik frekans değerinin hesaplanma şekli ifade edilmektedir:

$$f_c = \frac{c^2}{2 * \pi} \sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \quad (7)$$

Burada:

$\rho_s$ : Malzemenin yüzey yoğunluğu  
B: Malzemenin eğilme sertliği  
c: Sesin havadaki hızıdır.

Homojen bir plaka için eğilme sertliği, Denklem 8'deki gibi ifade edilmektedir:

$$B = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \nu^2)} \quad (8)$$

Burada:

E: Malzemenin elastisite modülü  
h: Malzemenin kalınlığı  
v: Malzemenin poisson oranıdır.

Ses dalgalarının iletimine bağlı olarak kurulan sistemlerde fiziksel parametrelerin tanımlanması TL değerinin belirlenmesinde önemlidir. Enerji iletimi söz konusu olduğundan ses enerjisinin yalıtım malzemesine çarpma anında incelenmesi gerekmektedir [Laman ve Keskin, 2004]. Deklem 9'da tek bölmede ses iletimi için, ses frekansının, kritik frekanstan büyük ya da küçük olma durumuna göre TL değeri hesaplanabilmektedir.

$$TL = 20 * \log(m * f) - 48 \quad f < f_c$$

$$TL = 20 * \log(m * f) + 10 * \log\left(\frac{2 * \eta * f}{\pi * f_c}\right) - 44 \quad f > f_c \quad (9)$$

Burada:

m: Yüzey kütlesi  
f: Frekans  
 $\eta$ : Kayıp faktörü  
 $f_c$ : Kritik frekanstır.

**Tek Bölmeli Olmayan Ortamda Ses İletimi:** Akuzoft modeli, TL hesabında Denklem 10'daki genel TL hesaplama formülünü kullanmaktadır. Yapılan deneysel hesaplamalar sonucunda belirli korelasyon katsayıları ve integralin sınır değerleri ses yankısının olmaması durumu için 0 ile 78 derece sınır değerleri olarak kabul edilmiştir [Beranek,1956].

$$\tau = 2.0904 \left\{ \left[ 1 + \eta * \left( \frac{w * \rho_s * \cos(a)}{2 * \rho_0 * c} \right) * \left( \frac{w^2 * B * \sin^4(a)}{c^4 * \rho_4} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{w * \rho_s * \cos(a)}{2 * \rho_0 * c} \right) * \left( 1 - \frac{w^2 * B * \sin^4(a)}{c^4 * \rho_s} \right) \right]^2 \right\}^{-1} * \cos(a) * \sin(a)$$

$$TL = 10 * \log \frac{1}{\tau} \quad (10)$$

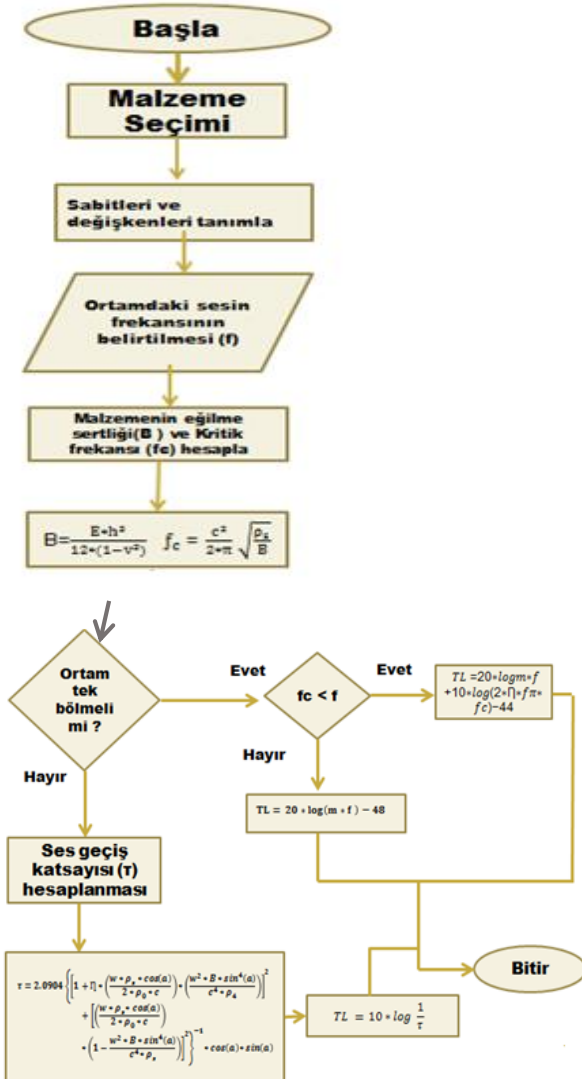
Burada:

TL: Ses geçiş kaybı  
 $\tau$ : Ses geçiş katsayısı  
 $\omega$ : Açısal frekans ( $2\pi f$ )

$\rho_s$ : Malzemenin yüzey yoğunluğu  
 B: Malzemenin eğilme sertliği  
 $\eta$ : İç kayıp faktörü  
 c: Sesin havadaki hızı  
 $\alpha$ : Sesin engele geliş açısı  
 $\rho_0$ : Havanın yoğunluğu

## 2.2 Algoritma

PYTHON kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama programı sayesinde yalıtım malzemeleri ortam şartlarına bağlı olarak daha kısa zamanda ve az maliyette belirlenecektir. PYTHON programı akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Ana ekran üzerinde 7 malzeme için sabit olan değerler program kodlarına eklenmiştir. Ekran üzerinde belirtilen boşluklara malzemenin değişken özellikleri ve ortamdaki frekans değerleri girilerek işlemler yapılmaktadır. Malzemenin elastite modülü, possion oranı, iç kayıp faktörü ve yüzey yoğunluğu ana ekran üzerinde malzeme tercihine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2. Python programı akış diyagramı

## 3. Bulgular ve Tartışma

Her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri deneysel olarak belirlenmiş malzemelerin, program çıktıları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda frekansa karşılık gelen TL değerleri 7 farklı malzeme için ortam şartlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 1'de 7 farklı ses yalıtım malzemesine ait özellikler verilmiştir. [Aksoylu vd.,2016; Kaya,2016; Aydın ve Ekmekçi,2002].

Tablo 1. Ses yalıtım malzemelerinin yapısal özellikleri

Malzemeler	Elastite Modülü N/m <sup>2</sup>	İç Kayıp Faktörü	Possion Oranı	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>
Melamin Köpüğü	2089.07	0.048	0.55	11
Ahşap Yünü	11186.59	0.039	0.43	30
Kauçuk Köpüğü	2985.54	0.056	0.35	20
Polietilen Levha	1035000	0.029	0.25	0.94
Taş Yünü	78700.98	0.041	0.29	90
Cam Yünü	45000.72	0.035	0.65	14
Poliüretan Levha	17000000	0.026	0.68	40

Bu bilgiler dâhilinde programda yapılan deneysel hesaplamalar aşağıda belirtilmektedir;

**1.Durum:** İlk olarak 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğüne ait deneysel bilgiler dikkate alınarak frekansa bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

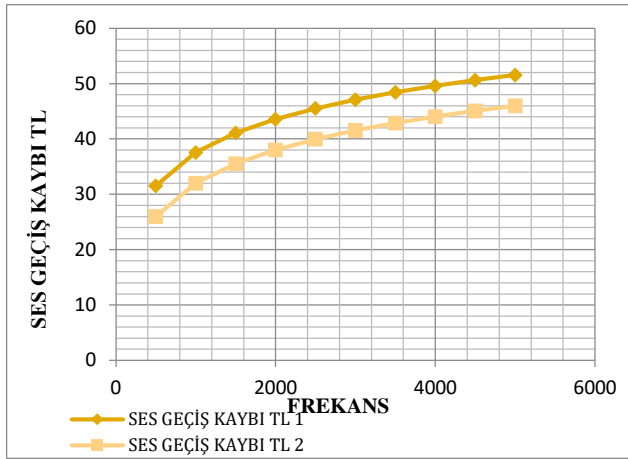
Kullanılan 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğü için dikkate alınan parametreler şunlardır: Kalınlık: 0.10 m, Yoğunluk: 11 kg/m<sup>3</sup>, Possion Oranı: 0.55, Elastisite modülü: 2089.07 N/m<sup>2</sup>, İç kayıp faktörü: 0.048, Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Tablo 2'de ve Şekil 3'te sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi gösterilmektedir. Tablo 2'de 10 cm kalınlığında ve 0,1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL 2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir. Ortamdaki frekans değerinin artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Bir malzemenin TL değerinin yüksek olması, o malzemenin iyi yalıtım sağladığını göstermektedir. Şekil 3'de kullanılan bu malzemenin tek bölmeli olmayan ortamlarda daha iyi sonuçlar verilerek ses yalıtımı daha etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	ORTAM FREKANSI (Hz)	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Melamin Köpüğü	500	139511.218	25.979	-	31.544
Melamin Köpüğü	1000	139511.218	32.000	-	37.562
Melamin Köpüğü	1500	139511.218	35.521	-	41.089
Melamin Köpüğü	2000	139511.218	38.020	-	43.582
Melamin Köpüğü	2500	139511.218	39.958	-	45.520
Melamin Köpüğü	3000	139511.218	41.542	-	47.104
Melamin Köpüğü	3500	139511.218	42.881	-	48.442
Melamin Köpüğü	4000	139511.218	44.041	-	49.602
Melamin Köpüğü	4500	139511.218	45.064	-	50.625
Melamin Köpüğü	5000	139511.218	45.977	-	51.540



Şekil 3. 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

bilgiler dikkate alınarak malzemenin kalınlığına bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

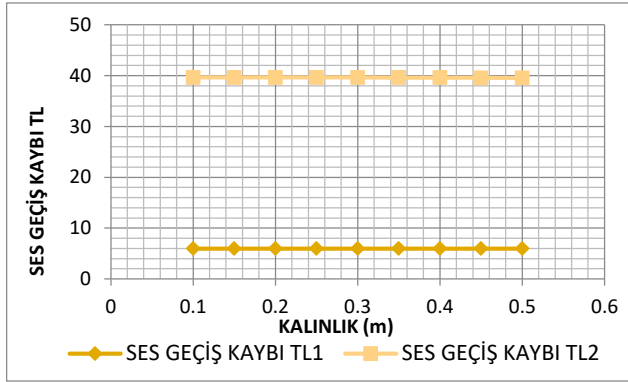
Kullanılan 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için dikkate alınan parametreler şunlardır: Ağırlık: 0.50 kg, Yoğunluk: 14 kg/m<sup>3</sup>, Poisson Oranı: 0.65, Elastisite modülü: 45000.72 N/m<sup>2</sup>, İç kayıp faktörü: 0.035, Sesin havadaki hızı: 340 m/s.

Tablo 3'de ve Şekil 4'de sırasıyla belirli kalınlıklara göre TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 3'de 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır. Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir.

**2.Durum:** Kullanılan verilerle 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yününe ait deneysel

Tablo 3. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	MALZEME KALINLIĞI	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Cam Yünü	0.100	27014.620	5.979	-	39.656
Cam Yünü	0.150	14704.896	5.979	-	39.654
Cam Yünü	0.200	9551.110	5.979	-	39.651
Cam Yünü	0.250	6834.218	5.979	-	39.645
Cam Yünü	0.300	5198.966	5.979	-	39.636
Cam Yünü	0.350	4125.692	5.979	-	39.625
Cam Yünü	0.400	3376.827	-	5.979	39.609
Cam Yünü	0.450	2829.958	-	5.979	39.589
Cam Yünü	0.500	2416.261	-	5.979	39.563



Şekil 4. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

Malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 4'de kullanılan bu malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerinin sabit kalarak iyi sonuç vermediği ve tek bölmeli olmayan ortamlarda daha iyi sonuçlar verdiği fakat kalınlık artışına bağlı olarak TL değerlerinde az oranlarda azalma gözlemlenmektedir.

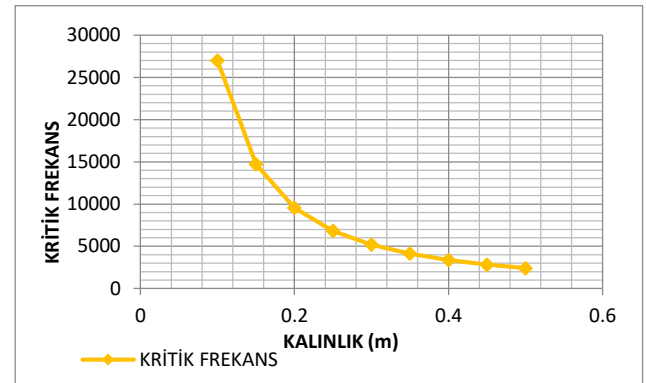
Malzemenin kalınlığına ve ortam şartlarına bağlı olarak en çok etkilenen değer kritik frekans değeridir. Kritik frekans değeri ortam şartlarına bağlı olarak malzemenin etki gösterebileceği ses yalıtım değeridir [Davy, 2009]. Şekil 5'te kritik frekansın kalınlığa bağlı olarak değişimi belirtilmektedir.

**3.Durum:** Kullanılan verilerle 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Cam yününe ait deneysel bilgiler dikkate alınarak malzemenin kalınlığına bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

Kullanılan 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levha için dikkate alınan parametreler şunlardır: Kalınlık: 0.30 m, Yoğunluk: 0.94 kg/m<sup>3</sup>, Possion Oranı: 0.25, Elastisite modülü: 1035000 N/m<sup>2</sup>, İç kayıp faktörü: 0.029, Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Tablo 4'de ve Şekil 6'da sırasıyla belirli kalınlıklara göre TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 4'de 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanana verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir. Malzeme ağırlığının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir.



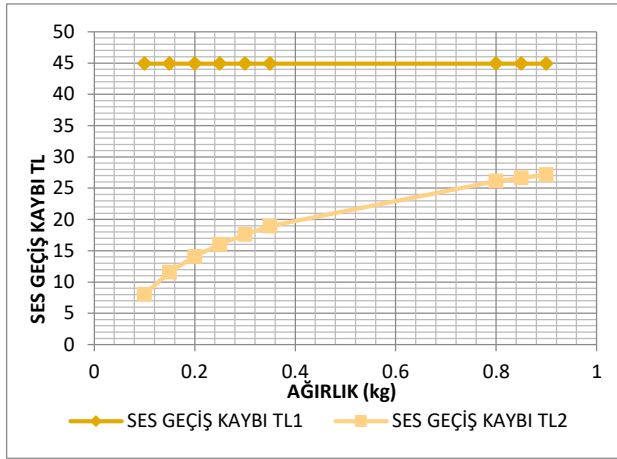
Şekil 5. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak kritik frekans değeri

Şekil 6'da kullanılan bu malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerinin devamlı olarak arttığı ve tek bölmeli olmayan ortamlarda iyi sonuçlar verdiği fakat ağırlığının artışına bağlı olarak TL değerlerinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir.

Son olarak belirli kalınlık ve ağırlıkta belirlenen daha önce belirtilen 7 malzemenin özellikleri dikkate alınarak hem tek bölmeli olan ortamda hem de tek bölmeli olmayan ortamlarda TL değeri hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	MALZEME AĞIRLIĞI	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Polietilen Levha	0.100	357.903	-	8.062	44.903
Polietilen Levha	0.150	357.903	-	11.584	44.903
Polietilen Levha	0.200	357.903	-	14.082	44.903
Polietilen Levha	0.250	357.903	-	16.021	44.903
Polietilen Levha	0.300	357.903	-	17.604	44.903
Polietilen Levha	0.350	357.903	-	18.943	44.903
Polietilen Levha	0.800	357.903	-	26.124	44.903
Polietilen Levha	0.850	357.903	-	26.650	44.903
Polietilen Levha	0.900	357.903	-	27.147	44.903



Şekil 6. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

**4.Durum:** Kullanılan malzemeler 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Melamin köpüğü, Ahşap yünü, Kauçuk köpüğü, Polietilen levha, Taş yünü, Cam Yünü ve Poliüretan levhaya ait deneysel bilgiler dikkate alınarak frekansa bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

Tablo 5’de ve Şekil 7’de sırasıyla frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 5’te 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanana tek bölmeli ortamdaki TL değerleri belirtilmektedir. Ortam frekansının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 7’de kullanılan bu 7 malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerlerinin kritik frekans değerlerine de bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 5. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

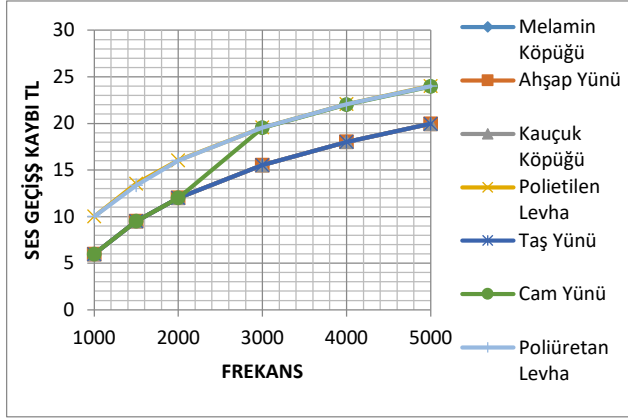
FREKANS	Melamin Köpüğü	Ahşap Yünü	Kauçuk Köpüğü	Polietilen Levha	Taş Yünü	Cam Yünü	Poliüretan Levha
1000	5.979	5.979	5.979	10.014	5.979	5.979	10.006
1500	9.501	9.501	9.501	13.539	9.501	9.501	13.350
2000	12.000	12.000	12.000	16.040	12.000	12.000	16.031
3000	15.521	15.521	15.521	19.565	15.521	19.524	19.556
4000	18.020	18.020	18.020	22.067	18.020	22.023	22.056
5000	19.958	19.958	19.958	24.007	19.958	23.962	23.994

Bu değişimlerde Melamin köpüğü, Ahşap yünü, Kauçuk köpüğünün ortam frekansına bağlı olarak TL değerlerinin aynı oranda artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak hesaplanan kritik frekansın ortam frekansından büyük olduğu için programda yapılan hesabın yalnızca ortam frekansına ve malzemenin ağırlığına bağlı olmasıdır. Bu sebeple tüm malzemelerde ortam frekansı ve malzeme ağırlığı sabit olduğu için aynı oranda artış göstermektedir.

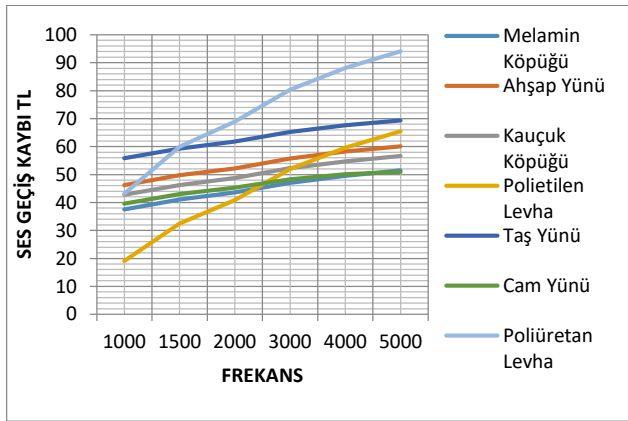
Taş yünü ve Cam Yünü karşılaştırıldığında belirli bir değerden sonra TL değerlerinin farklı oranlarda artış gösterdiği belirtilmektedir. Bunun sebebi ise kritik frekansın ortam frekansından az olarak hesaplanmasıdır. Programda yapılan hesaplama ile farklı denklemlere yönlendirilerek veriler elde edilmiştir. 7 malzeme karşılaştırıldığında 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Poliüretan levhanın en iyi sonucu elde ettiği Şekil 7’de gösterilmektedir.

Tablo 6’da ve Şekil 8’de sırasıyla frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 6’da 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan tek bölmeli olmayan ortamdaki TL değerleri belirtilmektedir. Ortam frekansının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 8’de kullanılan bu 7 malzemenin tek bölmeli olmayan ortamlarda değerlerinin kritik frekans değerlerine de bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir. 7 malzeme karşılaştırıldığında 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Poliüretan levhanın en iyi sonucu elde ettiği Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri



Şekil 8. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

#### 4. Sonuçlar

Yalıtım malzemelerine ait TL değerlerinin hesaplanması, gürültüye karşı alınacak önlemlerde

uygun malzemenin seçilmesi konusunda önemli bir değerdir. Kullanılan malzemenin ses yalıtımı açısından etkisi ve uygun şartları sağlaması, TL değeri malzemeye ait yalıtım özelliklerini belirlemektedir. Bir malzemenin TL değerinin yüksek olması, o malzemenin ses yalıtımı açısından başarılı olduğunu ifade etmektedir. TL değeri hesaplanmasında kullanılan analitik hesaplama yöntemleri ve deneysel çalışmalar yöntemleri, hesaplamaların uzun sürmesi ile mali açıdan zorluklar ortaya koymaktadır. Mühendislikte kullanılan simülasyon uygulamaları ile gerçekleştirilen program tasarımları, mevcut yöntemlerin zorlukları ortadan kaldırmayı hedeflemektedir.

Yapılan bu çalışmada, Akuzoft modeli kullanılarak 7 farklı yapı malzemesinin yalıtım başarısı belirlenmiştir. Malzemelerin TL değerleri hesaplanırken malzemenin bulunduğu ortam ve ortam frekansı ile birlikte malzemeye ait birtakım parametreler de göz önünde bulundurulmuştur. Programdan elde edilen veriler doğrultusunda malzemenin özelliklerine bağlı olarak kritik frekans değeri hesaplanmıştır. Kritik frekans değeri malzemenin ortama bağlı olarak performans gösterebileceği bir sınır değeridir. Kritik frekans değeri göz önünde bulundurularak ortam tek bölmeli ise TL değeri hesabı yapılmıştır. Ortam tek bölmeli değil ise malzemenin belirli özellikleri kullanılarak ve ortamın özelliklerine göre  $\tau$  değeri ve TL değeri hesaplanarak yalıtım malzemesi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, bir malzemenin TL değeri ne kadar büyükse malzemenin ses yalıtımı o kadar etkilidir. Malzemeye ait TL değerinin hesaplanmasında kullanılan her bir parametrenin, TL değerini etkilediği görülmüştür. Bu durum ileriki araştırmalarda seçilecek malzeme ve ortam özelliklerinin önemli olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçların bir sonraki araştırmalara yardımcı olması hedeflenmektedir. İleriki araştırmalarda malzeme sayısının artırılması ve farklı modeller kullanılarak deneysel sonuçlara göre doğruluğun belirlenmesi önerilmektedir.

Tablo 6. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

FREKANS	Melamin Köpüğü	Ahşap Yünü	Kauçuk Köpüğü	Polietilen Levha	Taş Yünü	Cam Yünü	Poliüretan Levha
1000	37.559	46.268	42.752	19.093	55.802	39.563	43.133
1500	41.076	49.781	46.270	32.498	59.304	42.966	59.983
2000	43.568	52.226	48.763	40.819	61.775	45.297	68.920
3000	47.072	55.749	52.271	51.931	65.216	48.319	80.386
4000	49.547	58.194	54.750	59.611	67.601	50.066	88.177
5000	51.453	60.062	56.66	65.510	69.390	50.931	94.124



### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Rümeyya TÜRK ve Sevil ÖZER çalışmanın tasarımı ve uygulanmasında; Rümeyya TÜRK ve Kübra KELLEÇİ, bilimsel yayın araştırmasında ve makalenin oluşturulmasında; Kübra Kelleci ve Sevil ÖZER, makalenin sonuçlarının yorumlanmasında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

Aksoylu, C., Mendi Ş.E., and Söylev A. (2016). Ses yalıtımında ses azaltım indisi modellerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31:4, 961-970.

Atef, M., Bassioni, G., Azab, N., & Abdellatif, M. H. (2022). On the acoustical performance of eco-friendly cementitious composite with recycled fine rubber particles. *Construction and Building Materials*, 325, 126830.

Aydın, H. and Ekmekçi İ. (2002). Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi Ve İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6.1: 45-50.

Badaud, S., and Topçu, K.D. Audiovisual perception of a historical route in Konya city (Türkiye). *Journal of Human Sciences* 19.3 (2022): 417-440.

Beraneck, L. L. (1956). Criteria for office quieting based on questionnaire rating studies." *The Journal of the Acoustical Society of America* 28.5: 833-852.

Davy, John L. (2009). Predicting the sound insulation of single leaf walls: Extension of Cremer's model. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126.4: 1871-1877.

Demirkale, S. Y., (2008). Yapı Elemanlarında Sesin Yayılması. "Çeşitli Duvarların Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması." Rapor, İTÜ Mimarlık Fakültesi.

Demirkale, S.Y., (1999). Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi, Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 41-53.

Dym, C. L., and Lang, M.A. (1974). Transmission of sound through sandwich panels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 56.5: 1523-1532.

Eroğlu, H., and M. Usta. (2004). Kâğıt ve Karton Üretim Teknolojisi Ders Kitabı. Trabzon, Türkiye: KTÜ Basımevi.

Ford, R. D., P. Lord, and A. W. Walker. (1967) "Sound transmission through sandwich constructions." *Journal of sound and vibration* 5.1: 9-21.

Homsı, E. N., (2003). Acoustical characterization and parameter optimization of polymeric noise control materials. New Jersey Institute of Technology.

Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri." *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi* 29: 38-45.

Karaağaçlıoğlu, İ. E., (2012). Bor ve Mineral katkılı selülozik yalıtım malzemesi üretimi ve karakterizasyonu (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Laman, M., ve Keskin, M. S., (2004). Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi", *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431.

Marco A.A.B., Diseño E., (2010). Implementación De Una Aplicación Computacional Para El Modelado De Soluciones Acústicas, Master's Thesis, Universidad Austral De Chile Facultad De Ciencias De La Ingeniería Escuela De Ingeniería Civil Acústica Valdivia, Chile.

Tadeu, A., Julieta A., and Diogo M. (2004). Sound insulation provided by single and double panel walls—a comparison of analytical solutions versus experimental results." *Applied Acoustics* 65.1: 15-29.