

PAPER DETAILS

TITLE: Ses Emisyonu Yarik Boyutlarinin Hafif Agregali Kâgir Blokların Ses Yutum Özelliklerine Etkisi

AUTHORS: Lütfullah GÜNDÜZ,Sevket Onur KALKAN

PAGES: 1041-1055

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2285862>

Ses Emisyonu Yarık Boyutlarının Hafif Agregalı Kâgir Blokların Ses Yutum Özelliklerine Etkisi

Effect of Sound Emission Slit Dimensions on Sound Absorption Properties of Lightweight Aggregate Masonry Blocks

Lütfullah Gündüz¹, Şevket Onur Kalkan^{2*}

Geliş / Received: 02/03/2022

Revize / Revised: 14/12/2022

Kabul / Accepted: 14/12/2022

ÖZ

Ses yalıtımı, ses dalgalarının bir malzemeden içeri girmesini önlemek için bir tür önlemdir. İyi ölçüde ses emici malzemelerin hafif, gevşek ve gözenekli yapıda ürünler oldukları bilinmektedir. Bu çalışmada, hafif agregalı ve boşluklu beton blokların ses yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi için yeni bir tasarım yaklaşımı sunulmaktadır. Çalışma kapsamında, pomza ve volkanik tüf beton blok üretiminde hafif agregata olarak kullanılmıştır. Özel tasarıma sahip alternatif ses emici ortamların oluşturulduğu kâgir blok örneklerinin akustik özellikleri model örnekler üzerinde analiz edilmiştir. Özellikle, tasarımında Helmholtz rezonatör formunun oluşturulduğu ve 3 ayrı alternatif ses absorpsiyon için yarık genişliklerinin (12 mm, 16 mm, 20 mm genişliğinde) kâgir blok elemanın ses yutum performansına olan etkileri incelenmiştir. Hafif beton blokların geometrik tasarımı, üç sıra boşluklu olarak tasarlanmış ve ses yutma kapasitesini artırmak için kenardaki bir sıra boşluğu kapatan beton yüzey boşluk hizasında üç farklı genişliklerde yarılarak bu kenardaki boşluklar açık boşluk haline getirilmiştir. Ayrı bir seri olarak, kâgir blokların ses yutma kapasitesini artırma amaçlı, polyester elyaf keçe takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu tasarım formlarına ait teknik bulgular da karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Çalışma bulgularına göre, blok tasarımındaki yarık genişliği büyüdükçe, Helmholtz rezonatör formundaki boşluk hacimlerine alınan ses miktarının arttığı ve dolayısıyla daha fazla ses soğurma işlevi gördüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, polietilen elyaf keçe takviyesi ile birlikte 16 mm yarık tasarımlı blokta 1.67 katlık, 20 mm yarık tasarımlı blokta ise 1.74 katlık ilave bir ses emicilik performansı sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Hafif Agregata, Kâgir Blok Tasarımı, Akustik, Ses Yutum, Ses Yalıtımı*

ABSTRACT

Sound insulation is a kind of measure to prevent sound waves from penetrating through a material. Good sound absorbing materials are known to be lightweight, loose, and porous products. In this study, a new design approach is presented to improve the sound insulation properties of lightweight aggregate concrete blocks. Within the scope of the study, pumice, and volcanic tuff were used as lightweight aggregates in the production of concrete blocks. The acoustic properties of the masonry block specimens, in which alternative sound absorbing environments with special design are created, were analyzed on the model specimens. In particular, the effects of 3 different slit widths (12 mm, 16 mm, 20 mm wide) on the sound absorption performance of the masonry block element, in which the Helmholtz resonator form was created in its design, were investigated. The geometry of the lightweight concrete blocks is designed with three rows of gaps, and on the outer facing of the block, 4 sound slits were created at 80%

¹İletişim: lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2487-467X>)

İnşaat Mühendisliği, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0250-8134>)

İnşaat Mühendisliği, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

of the block height to increase the sound absorption capacity, and the gaps on these sides are turned into open gaps. In addition, the technical findings of the design forms of polyester fiber felt used as reinforcement material to increase the sound absorption capacity of the block were also discussed comparatively. According to the study findings, it has been determined that as the slit width in the block design gets larger, the amount of sound received into the cavity volumes in the form of Helmholtz resonator increases, and therefore it functions more as a sound absorber. In addition, with the polyethylene fiber felt reinforcement, an additional sound absorbing performance of 1.67 times is provided in the 16 mm slit block and 1.74 times in the 20 mm slit design block.

Keywords- Lightweight Aggregate, Masonry Block Design, Acoustic, Sound Absorption, Sound Insulation

I.GİRİŞ

İnşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılan elemanlarda yalıtım performansı denilince günümüzde ısı, su ve yangın yalıtımı kadar önemli bir diğer unsur akustik konfor ve ses yalıtımıdır. Ses yalıtımı, insan sağlığına olumsuz etkileri olan gürültünün zararlarını en aza indirmek için binalarda ve işyerlerinde sesin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla yapılan yalıtım türüdür. İçinde yaşadığımız tüm fiziki mekanlarda akustik konforun belirli prensipler dahilinde aranması, insan sağlığı ve psikolojisi açısından son derece önem kazanmaktadır. Bir binada akustik konforun sağlanmasında en önemli etkenlerin başında, kullanılan her türev malzemenin ses yalıtımına yönelik parametrik değerleri ve performans göstergeleri gelmektedir [1-3]. Bu bağlamda, bir binada üstün derecelerde bir akustik konfor ortamı sağlanması arzu edildiğinde, binanın planlama ve projelendirilmesi önemli olduğu kadar, seçilecek malzemelerin detaylı akustik konfor özelliklerinin de etüt edilmesi ve akustik performans açısından birbiri ile uyumlu malzemelerin seçilmesi de bir o kadar önemlidir. Yapı malzemelerinin akustik konfor değerlendirmelerinde en önemli parametrelerin başında malzemenin ses yutma karakteristiğinin belirlenmesi gelmektedir. Bu özelliğin belirlenmesi için malzemenin farklı frekans değerlerinde ses yutum katsayı değerlerinin bilinmesi veya tanımlanması gerekmektedir [1-6]. Ancak, taşıyıcı ve/veya taşıyıcı olmayan duvar örgülerinde kullanılan kâgir blok elemanların ses yutum karakteristikleri üzerine literatürde yeterli düzeyde teknik bulgulara rastlanılamamaktadır. Özellikle iç mekânda akustik konfor koşulların iyileştirilmesi projelerinde duvarı oluşturan kâgir birimlerin akustik amaçlı tasarımlarının geliştirilmesi önem arz eden bir durumdur. Literatürde akustik amaçlı farklı tasarım ve bileşenlerden oluşan bir dizi kâgir blok elemanının teknik performansları araştırmacılar veya kâgir blok üreticileri tarafından incelenmiştir [7-12]. Kâgir blok elemanlarının ses yutum performanslarının gelişimi, blok tasarım şekillerine bağlı olduğu kadar, bloğun üretiminde kullanılan agrega malzemelerin karakteristiği ile de doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, hafif agrega olarak kullanılan pomza ve volkanik tuf agregalı özel tasarıma sahip alternatif ses emici ortamların oluşturulduğu kâgir blok örneklerinin akustik özelliklerini tecrübe etmek amacıyla model örnekler üzerinde yapılan incelemelerle analiz edilmiştir. Özellikle tasarımında Helmholtz rezonatör formunun oluşturulduğu ve 3 ayrı alternatif ses emisyon yarık genişliklerinin kâgir blok elemanının ses yutum performansına olan etkileri incelenmiş olup, ayrıca bloğun ses emisyonunu artırmak için polyester elyaf keçenin ilave takviye malzemesi olarak kullanılmış tasarım formlarına ait teknik bulgular da karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, hafif agregalı kâgir blok elemanlarının tasarımında elde edilecek blok harcı için pomza agrega ve volkanik tuf malzemeler, iki farklı agrega türü olarak değerlendirilmiştir. Blok harcı karışımlarında ana agrega malzeme olarak Nevşehir bölgesindeki ocaklardan temin edilen işlenmemiş doğal formdaki pomza agrega kullanılmıştır. Pomza agrega laboratuvar ortamında birincil bir çeneli kırıcıda kırılarak sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Hafif agregalı harç örneklerinin hazırlanması amacıyla pomza iki ayrı boyut fraksiyonu 2-4 mm ve 4-12 mm aralıklarına sınıflandırılarak kullanılmıştır. İki farklı boyut aralığındaki pomza agregaların etüv kurusu birim hacim kütle değerleri sırasıyla, 710 kg/m^3 ve 640 kg/m^3 'tür. Hafif agregalı kâgir blok örneklerinin hazırlanmasında ince agrega ve/veya dolgu materyali olarak ise volkanik tuf malzeme, Aksaray bölgesinden normal piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. Volkanik tuf malzeme ağırlıkça %34'ü 1 mm boyutun altında olacak formda 0-2 mm boyutuna sınıflandırılmış olup, etüv kurusu birim hacim kütle değeri ortalama 930 kg/m^3 'dür. Blok harcı hazırlanmasında CEM I 42.5R Portland çimento (özgül ağırlık değeri 3.15 g/cm^3) kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

B. Hafif Beton Tasarımı ve Örneklerin Hazırlanması

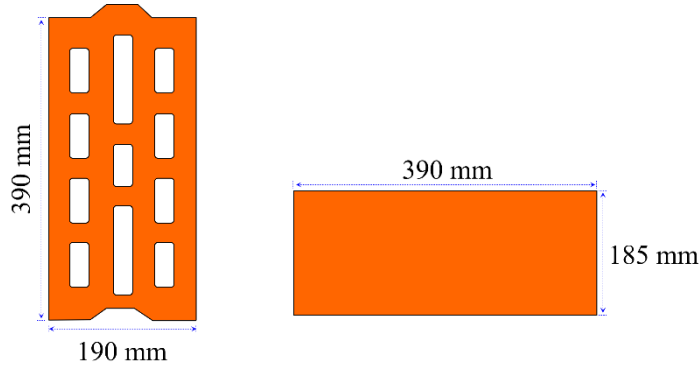
Pomza ve volkanik tüf agregalı kâgir blok harcı elde edilmesinde kullanılan hafif beton karışım tasarımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hafif beton karışım tasarımı

Malzeme	Reçete ağırlıkça (%)	Reçete hacimce (%)
2-4 mm Pomza	21.34	22.35
4-12 mm Pomza	45.53	53.64
0-2 mm Volkanik Tüf	16.54	13.41
Çimento	16.59	10.60

Karışımında yer alan bağlayıcı eleman çimento da dahil tüm malzemeler öncelikle bir mikser ortamında karıştırılarak homojen bir kuru formda agregası karışımı elde edilmiştir. Daha sonra karışıma su/katı oranı 0.43 olacak şekilde su ilave edilerek 5 dakika karıştırmaya devam edilmiş ve düşük slump’lu kâgir blok üretimini mümkün kılacak bir kıvamda getirilmiştir. Bu çalışmada, kuru kıvam karışımı için sınır olarak 30 mm çökme değeri kullanılmıştır. Karıştırma işlemi sonrası kuru karışım kıvamındaki taze yaş harcın birim hacim kütle değeri 1242 kg/m³ olup, priz almış kuru birim hacim kütle değeri ise 886 kg/m³’tür. Çalışmada kullanılan tüm kâgir blok örneklerinin tasarımında bu karışım standart ve sabit değer olarak kullanılmıştır.

Hafif agregalı kâgir blok üretimi için normal piyasa koşullarında yaygın olarak görülen blok tasarımlarından farklı olarak 3 sıra boşluklu (4+3+4) 11 boşluk hacimli 190 mm x 390 mm x 185 mm (Genişlik, Uzunluk, Yükseklik) anma boyutlu bir blok formu referans blok tasarımı olarak ele alınmıştır (Şekil 1). Bu tasarımındaki blok elemanın alt tabanı kapalı formda olup, hacimsel boşluk oranı %21.44 ve üst yüzey alansal doluluk oranı da %26.22’dir. Bu tasarıma sahip blok elemanı için Çizelge 1’de belirtilen karışımlarda kalıplama, presleme ve 28 gün doğal ortam kürelemesi süreçlerini kapsayan blok üretimi yapıldığında elde edilen kâgir bloğun kuru birim ağırlığı ortalama 9.55 kg ve brüt kuru birim hacim kütle değeri ise 696 kg/m³’tür. Bu geometrik form ve ağırlık değerlerine sahip blok tasarımları bu çalışma kapsamında kâgir blok test örnekleri olarak değerlendirilmiştir.

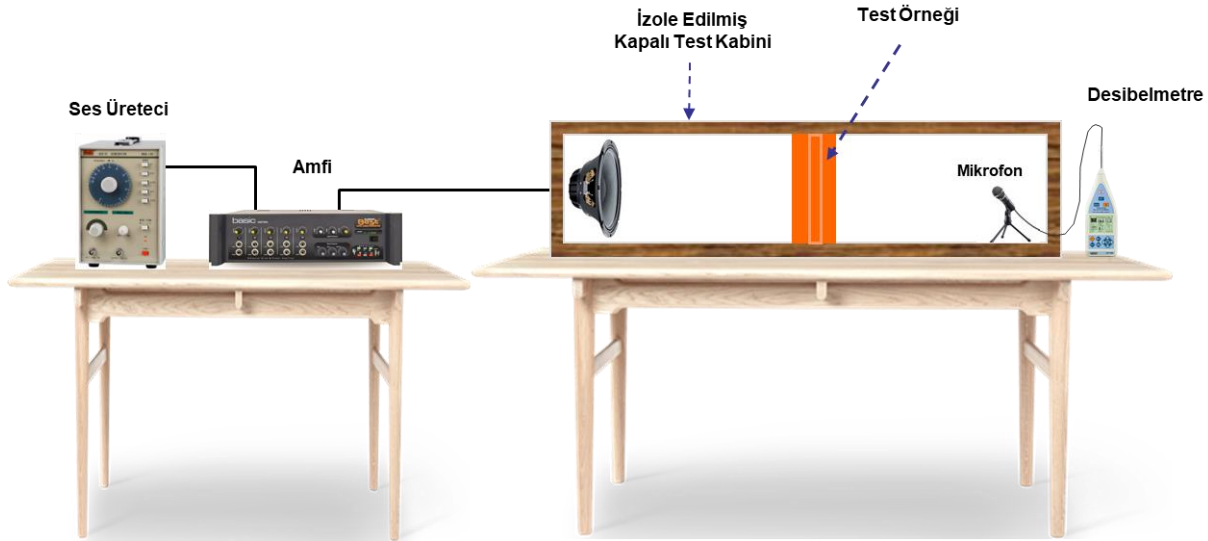


Şekil 1. Kâgir blok elemanı örneğinin genel geometrik formu (Referans blok elemanı)

C. Ses Yutum Katsayısı Analizi

Ses yutum katsayısının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ölçme yöntemi Empedans Tüp Yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntem TS EN ISO 10534-1 ve TS EN ISO 10534-2 standartlarında [13,14] öngörülen prensiplere göre ölçümler seçenekli olarak yapılabilir. Bu standartlardan TS EN ISO 10534-1’de ses yutum katsayısı ve empedansın tayini, duran dalga oranını kullanma metodu ile tanımlanırken, TS EN ISO 10534-2’de ise ses yutum katsayısı ve empedansın tayini aktarım fonksiyonu metoduna göre belirlenmektedir. Harç kombinasyonları için çoğunlukla tercih edilen metodoloji, duran dalga oranını kullanma metodu olarak bilinmektedir. Ancak, birebir boyutta ve boşluklu tasarıma da sahip olan bir kâgir blok örneği gerek boyutu ve gerekse heterojen yapısı sebebiyle bu yöntemlere uygun test numunesi hazırlanması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle bu tür yapı elemanları için alternatif analiz yöntemleri uygulamak gerekmektedir. Bu çalışmada literatürde farklı tasarım bileşenlerine sahip malzemelerin ses yutum katsayı değerlerini belirlemeye yönelik standart dışı ve

yakınsak deneysel bir yöntem olarak da öngörölmüş “desibel düşüşü” yöntemi [15,16], kâğır blok tasarımlarının ses yutum katsayı değerlerinin belirlenmesinde bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımda, oluşturulan izole edilmiş bir ses kabini içerisinde kabini ikiye ayıran bir bölme birim yer alıp, bu bölme birim üzerinde ses ölçümü yapılacak malzemenin yerleştirilmesi için uygun açıklıkta bir boş alan yer almaktadır (Şekil 2). Kabinin bir tarafında ses kaynağı, diğer tarafında ise ses analizörü bulunmaktadır. Öncelikle ses kaynağı ölçümü yapılacak önceden belirlenmiş bir frekansa ayarlanarak aktif hale getirilir ve kabinin diğer bölümündeki ses analizörü ile açıklıktan gelen ses basınç seviyesi (SBS) desibel (dB) cinsinden bu frekans değerindeki referans fon ölçüm değeri ($R_{i,ref}$) olarak kaydedilir. Sonrasında, hazırlanmış test örneği ara bölmede oluşturulmuş boşluk alana ses sızdırmaz bir konumda yerleştirilir ve ses kaynağı fon ölçümünde kullanılmış eşdeğer frekans değerinde tekrar çalıştırılarak, test örneğinin bu frekans değerindeki test fon ölçüm değeri ($R_{i,test}$) olarak kaydedilir. Referans fon ölçüm değeri ile test fon ölçüm değeri arasındaki ses basınç seviyesi farkı, ölçümü yapılan bu frekans değeri için Desibel Düşüşü (ΔR) olarak tanımlanır. Desibel düşüşü ($\Delta R = R_{i,ref} - R_{i,test}$) dB cinsinden hesaplanır. Belirlenen desibel düşüş değeri, Eşitlik 1 ve 2’de belirtilen [15,16] ampirik formül ile test örneğinin bu frekans değerindeki ses azaltma katsayısı olarak hesaplanır. Bu yaklaşıma göre hesaplanan değer, test örneğin ses yutum katsayısı (α) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Ses ölçüm düzeneğinin sembolik görünümü

$$\alpha = 1 - 10^{-(\Delta R/20)} \quad (1)$$

$$\alpha = 1 - 10^{-(R_{i,ref} - R_{i,test})/20} \quad (2)$$

Burada; α , test örneğinin ses yutum (azaltma) katsayısı; ΔR , iki fon ölçümü arasındaki desibel düşüş değerini (dB) göstermektedir.

Test örneğinin 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz aralığında her bir frekans değeri için sırasıyla tekrarlamalı olarak fon ölçümleri ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu metodolojiye göre hafif agregalı kâğır blok örnekleri için 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz aralığında belirlenen yutum katsayısı değerlerinden ASTM C423 standardında öngörülen Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC) değeri 250, 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarındaki ses yutum katsayılarının ortalaması olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3) [17,18].

$$NRC = (\alpha_{250 \text{ Hz}} + \alpha_{500 \text{ Hz}} + \alpha_{1000 \text{ Hz}} + \alpha_{2000 \text{ Hz}})/4 \quad (3)$$

Gürültü azaltma katsayısının (NRC) tanımında dikkate alınan frekans bantları, gürültü kontrolü açısından önemli olan frekans bantlarını kapsamaktadır. Bu nedenle, NRC değeri bilinen iki malzemeden, daha büyük değere sahip olanın, genelde daha iyi ses yutumu sağladığı söylenebilir. NRC değerinin “0” değeri, malzemenin mükemmel yansıtıcılık özelliğini temsil ederken, NRC’nin “1” değeri ise, malzemenin mükemmel ses soğuruculuk özelliğini temsil eder. NRC derecelendirmeleri, ses yutucu bir malzemeyle temas eden ve iç mekâna geri yansıtılmayan sesin yüzdesi olarak yorumlanabilmektedir. Örneğin, NRC=0.65’lik bir Gürültü Azaltma Katsayısı, ses dalgalarının %65’inin malzeme tarafından emildiğini, %35’lik kısmının ise yansıtıldığını gösterir. Malzemeler ses emicilik davranışlarına göre sınıflandırılabilir.

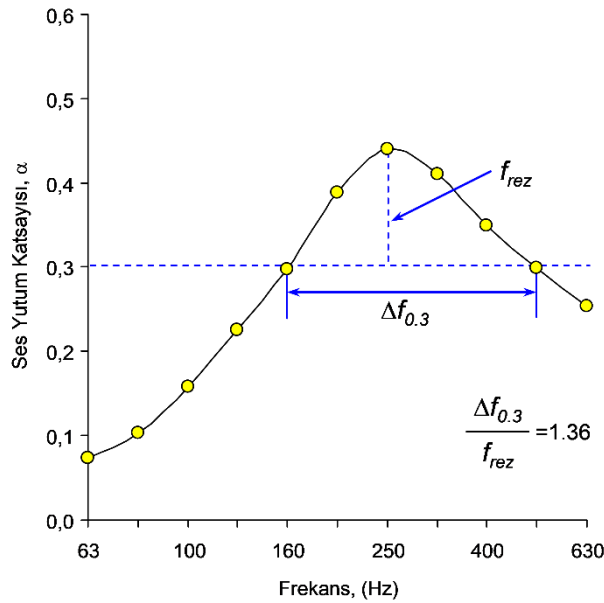
III. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

A. Standart Kâgir Blok Formunun Akustik Özellikleri

Tasarımında akustik amaçlı Helmholtz rezonatörü oluşturulmamış dış kenar hatları kapılı formda hafif agregalı 3 sıra boşluklu kâgir blok elemanı tasarımı bu çalışmada referans kâgir blok örneği olarak tanımlanmıştır. Referans kâgir blok elemanı örneklerinin 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı (absorpsiyon katsayısı) değişimi desibel düşüşü yöntemine göre analiz edilmiştir. Analiz bulguları örnek bir değerlendirme olarak Tablo 2’de verilmiştir. Blok örneğinin ses yutum performansının daha detay irdelenmesi amacıyla absorpsiyon spektrumu ve frekans bant genişliği ilişkisi rezonans bölgesi bağlamında Şekil 3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.Referans kâgir blok elemanı örneği için desibel düşüşü yöntemine göre bulgular.

Frekans (Hz)	Referans Fon Ölçümü $R_{i,ref}$ (dB)	Test Fon Ölçümü $R_{i,test}$ (dB)	Fon Ölçümleri Farkı $\Delta R = R_{i,ref} - R_{i,test}$	$\alpha = 1 - 10^{-(\Delta R/20)}$ Ses Yutum Katsayısı
63	84.2	83.5	0.66	0.07
80	85.3	84.4	0.94	0.10
100	87.1	85.6	1.50	0.16
125	89.3	87.1	2.21	0.23
160	87.4	84.3	3.06	0.30
200	85.8	81.5	4.28	0.39
250	89.8	84.8	5.04	0.44
315	90.2	85.6	4.58	0.41
400	83.6	79.9	3.74	0.35
500	88.6	85.5	3.10	0.30
630	89.2	86.7	2.55	0.25
800	92.2	89.8	2.40	0.24
1000	92.7	90.1	2.57	0.26
1250	94.1	91.2	2.90	0.28
1600	92.7	89.5	3.20	0.31
2000	87.9	84.6	3.31	0.32
2500	88.8	85.5	3.29	0.32
3150	82.3	79.3	2.97	0.29
4000	90.1	87.6	2.46	0.25
5000	93.4	91.1	2.30	0.23
6300	94.8	92.5	2.30	0.23

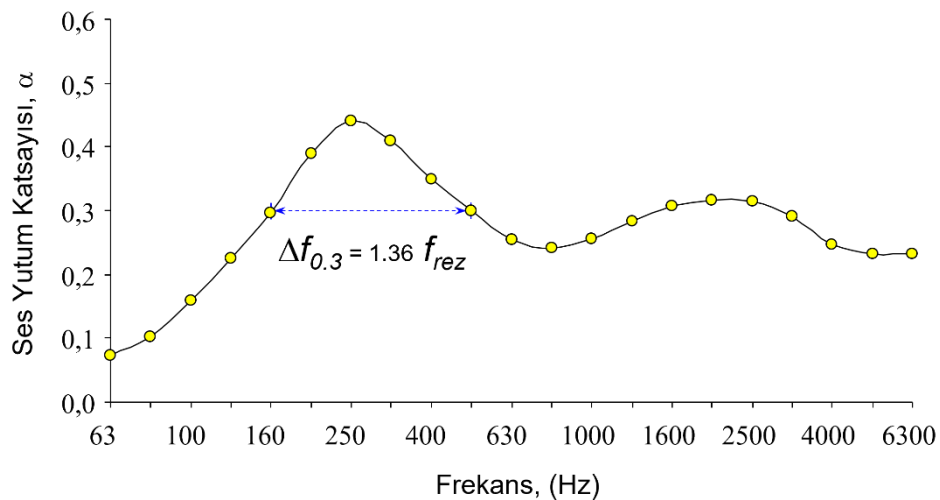


Şekil 3. Referans blok için rezonans bölgesi analizi

Düşük frekans bölgelerinde referans blok elemanın ses yutum katsayısı 0.07 – 0.44 aralığında değişmektedir. Referans blok örneğinin kütle ağırlığı (m^2 ağırlığı) 135.3 kg/m^2 ve ses azaltım indisi (ses geçiş kaybı) bağlamında belirlenen kritik frekans değeri ise 117 Hz'dir. Ancak, ses yutum katsayısı performansında 250 Hz frekans değerinde $\alpha=0.44$ 'lük değer ile tepe noktasını oluşturmaktadır. 250 Hz frekans değerinden sonra 800 Hz değerine kadar lineer bir eğilimle ses yutum katsayısının azalarak 0.24 değerine kadar düştüğü görülmektedir. 800 Hz frekans değerinin üzerindeki yüksek ses frekans bölgesinde ise α değeri 0.26 – 0.32 aralığında değişim göstermektedir. Bu bulgu, hafif agregalı referans blok örneğinin özellikle düşük frekans bölgesinde ses yutumu açısından daha etkin bir performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır. Referans blok örneğinin tasarım formu itibarıyla mükemmel akustik emiciliği bant genişliğinin 160 Hz ile 500 Hz frekans aralığında olduğu dikkat çekmektedir. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi grafiksel olarak Şekil 4'de gösterilmiştir.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
63	0,07
80	0,10
100	0,16
125	0,23
160	0,30
200	0,39
250	0,44
315	0,41
400	0,35
500	0,30
630	0,25
800	0,24
1000	0,26
1250	0,28
1600	0,31
2000	0,32
2500	0,32
3150	0,29
4000	0,25
5000	0,23
6300	0,23

NRC= 0,33



Şekil 4. Kâgir blok elemanı örneklerinin ses yutum katsayısı analizi (kontrol değerleri)

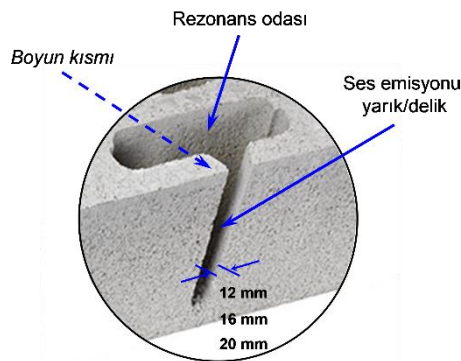
Rezonans bölgesinde görüldüğü gibi blok örneğinin $\alpha=0.30$ 'luk ses yutum değerlerini sağlayan bölge aralığında ses emicilik performansının maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu frekans bant aralığında oluşan

maksimum ses yutum değerine karşılık gelen frekans değeri “rezonans frekansı (f_{rez})” olarak tanımlanabilmektedir. Hafif agregalı kâgir blok elemanın ses yutma performansının irdelenmesinde bu absorpsiyon bant genişliği ($\Delta f_{0.3}$) ile rezonans frekansı (f_{rez}) arasında oluşturulan orantısal ilişki ($\Delta f_{0.3}/f_{rez}$), bu çalışmada akustik tasarımları farklı olan diğer blok örneklerinin değerlendirmelerinde bir karşılaştırma kriteri olarak ele alınmıştır. Bu parametre bağlamında, referans kâgir blok örneğinin değeri $\Delta f_{0.3} = 1.36f_{rez}$ ’dir. Diğer bir değişle $\alpha=0.3$ ses yutum değeri sağlanması için rezonans bölgesinde etkin frekans bant genişliği, rezonans frekans değerinin %36 fazlasıdır (Şekil 4). Hafif agregalı kâgir blok elemanlarında bu oransal değer ne kadar büyükse, düşük frekans bölgesinde ses emicilik özelliğinin de o ölçekte gelişmiş olduğu öngörülebilir.

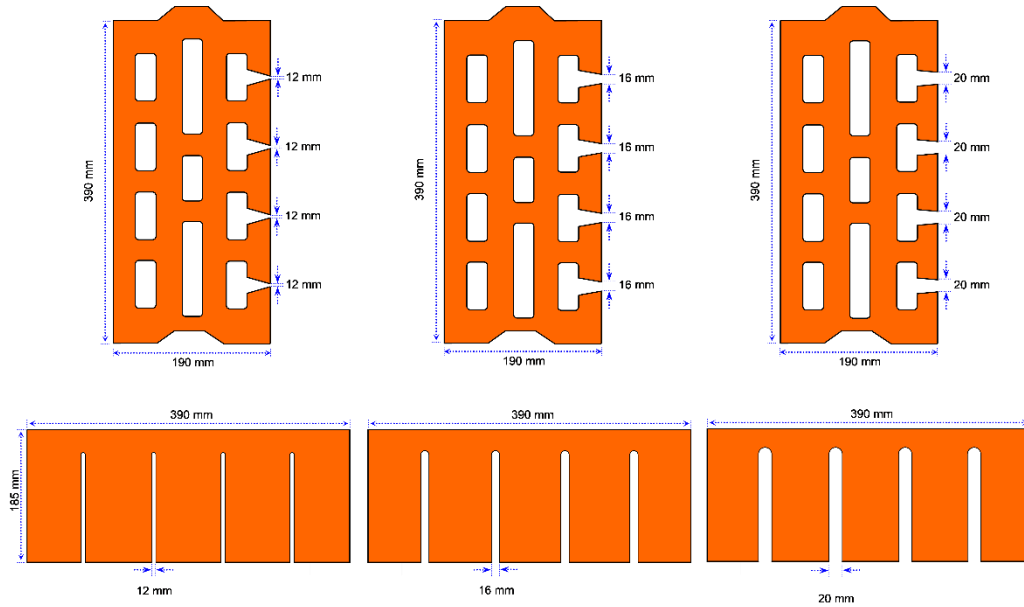
Gürültü kontrolü ve ses yalıtımı amaçlı yapı elemanı olarak kullanılan malzemelerin ses dalgalarının malzeme içerisine girmesini, yayılmasını, sürtünme yoluyla ses enerjisinin sönümlenmesini sağlayacak bir matris yapısına sahip olması gerekmektedir. Gürültü azaltma katsayısı (NRC), test edilen malzemenin ses yutum kalitesini gösteren tek bir sayı indeksidir. Bu katsayı, belirli bir yüzeye vurma üzerine emilen ses enerjisinin miktarını ve ortalama değer bağlamında bir absorpsiyon katsayısını temsil etmektedir. NRC; 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslarda ölçülen ses yutum katsayılarının aritmetik ortalamasının en yakın değere 0.05’lik yuvarlanması ile belirlenmiştir. NRC değerleri akustik açıdan malzemeler arasında yakınsak bir karşılaştırma yapılmasını sağlayan pratik bir ölçü olarak kabul edilebilmektedir [17]. Blok örneğinin Gürültü Azaltma Katsayısı $NRC=0.33$ olarak hesaplanmıştır. DIN EN ISO 11654 standardında [19] öngörülen ses emici sınıfına göre “E” kategoride yer almaktadır. Bu değere göre blok elemanı yüzeyine gelen ses dalgalarının %33’ünün kâgir blok elemanı tarafından emildiğini, %67’lik kısmının ise ortama geri yansıtıldığını gösterir. Geri yansıtılan ses dalgalarının oransal değerinin daha düşük bir düzeye indirgenmesi için, blok elemanın tasarımında ses yutma performansın iyileştirilmesini sağlayacak alternatif tasarım değişikliklerinin yapılması gerekmektedir.

B. Ses Emisyon Yarık Boyutunun Ses Yutum Özelliğine Etkisi

Hafif agregalı referans kâgir blok elemanın ses emicilik ve akustik özelliklerinin iyileştirilmesi ve de karşılaştırılmalı tasarım değişkenlerinin etkinliğini belirlemek amacıyla, blok elemanı tasarımında bloğun alın kısmına bakan dış hatıda blok yüksekliğinin %80’lik kısmında 4 adet ses emisyon yarığı oluşturulmuştur (Şekil 5). Oluşturulan bu yarıklar ile blok tasarımında yer alan ilk sıra boşluk hacimleri arası alan açılarak, her bir boşluk hacmi ortamı için Helmholtz rezonatörü formu oluşturulmuştur. Blok tasarımdaki bu yarıklar geometrik olarak Helmholtz rezonatörünün boyun kısmı bölgesindeki ses emisyonu yarıklarının genişliğini ve bloğun dış hatıl et kalınlığı ses emisyonu yarık derinliğini oluşturur. Bloğun bu alın tarafındaki ilk sıra boşluk hacimleri ise rezonans odası hacmini temsil etmektedir. Helmholtz rezonatörü formu oluşturulmuş tüm blok tasarımlarında boyun kısmı bölgesinde blok elemanlarının ses emisyonu yarık derinliği 27 mm ve rezonans odası hacimleri ise 244.4 cm^3 sabit değer olarak tasarlanmıştır. Referans kâgir blok elemanın tasarımında sırasıyla 12 mm, 16 mm ve 20 mm olarak oluşturulan 3 ayrı yarık genişliğinde blok örneklerinin ses yutum katsayı değerleri 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığındaki değişimi analiz edilmiştir. Farklı yarık boyutlarında tasarlanan blok örneklerinin sembolik görünümü Şekil 6’da verilmiştir.

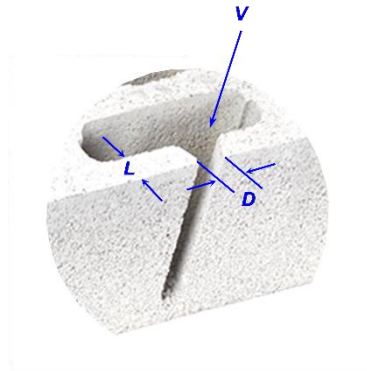


Şekil 5. Ses emisyonu yarık boyutu ve Helmholtz rezonatörü formu sembolik görünümü



Şekil 6. Farklı yarık boyutlarında tasarlanan blok örneklerinin sembolik görünümü

Çok farklı akustik özelliklere sahip önemli bir rezonatör türü, Alman fizikçi Hermann von Helmholtz'un adını taşıyan Helmholtz rezonatörüdür [8,9]. Kâgir blok tasarımında oluşturulan bu rezonatör formları, küçük açıklıklı yarık şekilli boynu olan içi boş hacimli Helmholtz rezonatörler şeklinde olup, bu yarıklardan ortamda yer alan sesin boşluk hacmine girmesine izin vermek için genellikle huni şeklindedir. Boşluk hacmi içerisine alınan ses, Helmholtz rezonatörünün prensibine dayanarak ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü şeklinde soğrulma işlevi görebilirler. Blok elemanındaki rezonatörün geometrik formuna bağlı bir rezonans frekansı (f_{rez}) mevcuttur. Rezonans frekansı, genellikle Eşitlik 4'te verilen yaklaşımla tanımlanabilmekte olup (Şekil 7), bu rezonans frekansa yakın frekans değerlerinde Helmholtz rezonatörü en yüksek ses yutma değerini sağlar. Helmholtz rezonatörü en çok düşük ve orta frekanslarda etkili sonuçlar sağlayabilmektedir.

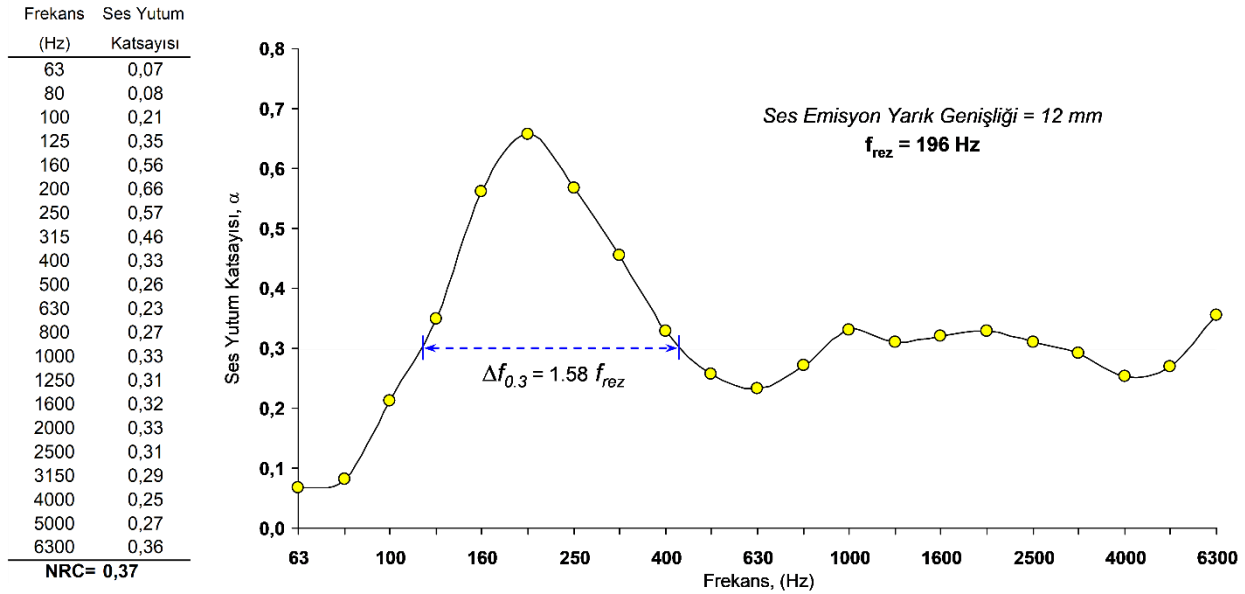


Şekil 7. Kâgir blok tasarımında Helmholtz rezonatör parametreleri

$$f_{rez} = \frac{c_s D}{4} \sqrt{\frac{1}{\pi V (L + 0.75 D)}} \quad (4)$$

Burada; c_s , ses hızı (344000 mm/s); D , ses emisyon yarık genişliği (mm); L , ses emisyon yarık derinliği (mm) ve V , rezonans odası hacmini (mm^3) temsil etmektedir.

Ses emisyonu yarık genişliği 12 mm olan hafif agregalı akustik kâgir blok örneğinin kütle ağırlığı (m^2 ağırlığı) 133 kg/m^2 ve Eşitlik 4'e göre hesaplanmış rezonans frekans değeri $f_{rez}=196 \text{ Hz}$ 'dir. Blok örneklerinin 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı (absorpsiyon katsayısı) değişimi analiz edilmiş olup, bulgular Şekil 8'de verilmiştir.

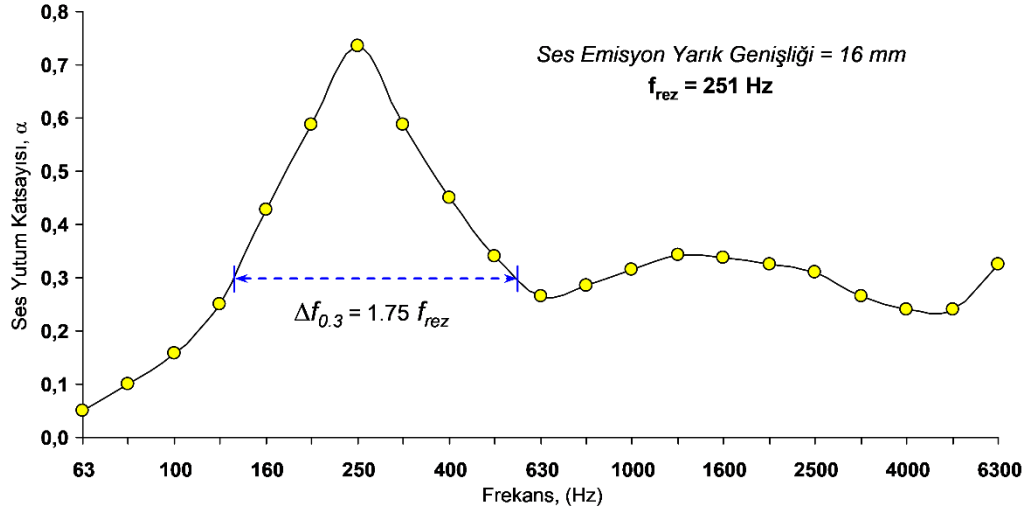


Şekil 8. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (ses emisyon yarık genişliği: 12 mm)

Rezonans frekansı 196 Hz değerinde $\alpha=0.67$ olarak belirlenmiştir. Düşük frekans bölgesinde rezonans frekans değerine kadar olan bant değişiminde ses yutum performansı 0.07’den 0.67 değerine kadar gelişim göstermektedir. Ancak, bu frekans değerinden sonra 630 Hz frekans değerine kadar $\alpha=0.23$ ’e düşmektedir. Yüksek frekans bölgesinde ise $\alpha=0.27 - 0.36$ aralığında değişim göstermektedir. Referans blok örneği için bu çalışmada öngörölmüş $\alpha=0.3$ ’lük absorpsiyon bant genişliği değeri ile mukayese edildiğinde, 12 mm’lik ses emisyon yarık genişliğinde $\Delta f_{0.3}=1.58f_{rez}$ ’dir. Bu yaklaşım, referans bloğun rezonans bölgesinde etkin ses emicilik performansına göre yaklaşık %12 daha gelişmiş olduğunu gösterir. Diğer bir irdeleme bulgusu olarak, 12 mm’lik ses emisyon yarık genişliğinde blok örneğinin gürültü azaltma katsayısı $NRC_{12mm}=0.37$ olarak hesaplanmıştır. Referans blok örneğine benzer şekilde bu blok tasarımı da DIN EN ISO 11654 standardında [19] öngörülen ses emici sınıfına göre “E” kategoride yer almaktadır. Ancak, referans blok tasarımına göre gürültü azaltma performansı olarak da yaklaşık %12 daha yüksek bir emilim değerine sahiptir.

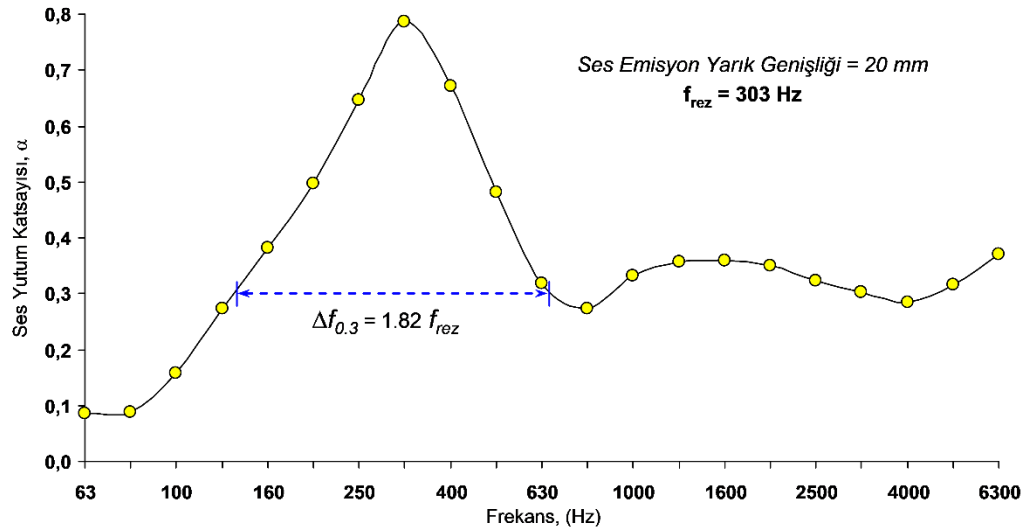
Blok elemanı tasarımında ses emisyon yarık genişliği artırıldığında, blok örneğinin ses yutum ve akustik performansındaki gelişimin irdelenmesi amacıyla ses emisyonu yarık genişliği 16 mm ve 20 mm olan hafif agregalı akustik kâğır blok örneklerinin analizi yapılmıştır. Blok örneklerinin 16 mm ve 20 mm yarık genişliği değerlerinde kütle ağırlıkları (m^2 ağırlıkları) sırasıyla 132 kg/m^2 ve 131 kg/m^2 ’dir. Eşitlik 4’e göre hesaplanmış rezonans frekans değerleri de 16 mm ve 20 mm yarık genişliği için sırasıyla $f_{rez,16mm}=251 \text{ Hz}$ ve $f_{rez,20mm}=303 \text{ Hz}$ ’dir. Blok tasarımında ses emisyon yarık genişliği arttıkça, rezonans frekans değeri de artmaktadır. Bu da rezonans bölgesinde ses emicilik özelliğinde daha etkin olacağını çağrıştırmaktadır. 16 mm ve 20 mm yarık genişlikli blok örneklerinin 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı değişimi analiz edilmiş olup, bulgular Şekil 9 ve Şekil 10’da verilmiştir.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
63	0,05
80	0,10
100	0,16
125	0,25
160	0,43
200	0,59
250	0,73
315	0,59
400	0,45
500	0,34
630	0,27
800	0,28
1000	0,32
1250	0,34
1600	0,34
2000	0,32
2500	0,31
3150	0,27
4000	0,24
5000	0,24
6300	0,32
NRC= 0,43	



Şekil 9. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (ses emisyon yarık genişliği: 16 mm)

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
63	0,09
80	0,09
100	0,16
125	0,27
160	0,38
200	0,50
250	0,65
315	0,79
400	0,67
500	0,48
630	0,32
800	0,27
1000	0,33
1250	0,36
1600	0,36
2000	0,35
2500	0,32
3150	0,30
4000	0,29
5000	0,32
6300	0,37
NRC= 0,45	



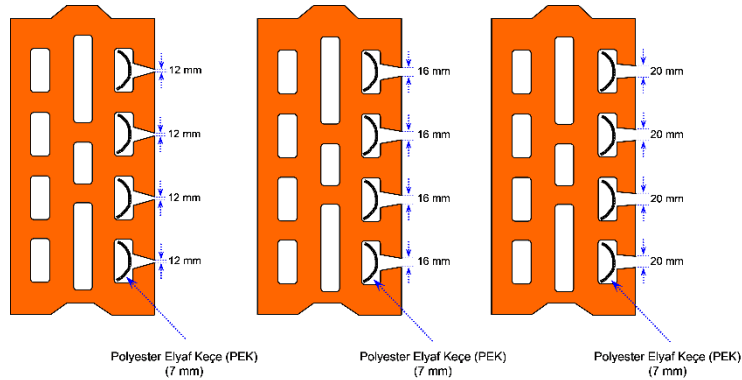
Şekil 10. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (ses emisyon yarık genişliği: 20 mm)

Rezonans frekansı değerlerinde 16 mm yarık açıklığındaki bloğun maksimum ses yutum katsayısı $\alpha=0.73$ iken 20 mm yarık açıklığındaki bloğun maksimum ses yutum katsayısı ise $\alpha=0.80$ 'dir. 12 mm'den 20 mm'ye değişen ses emisyon yarık genişliğindeki artış, ses yutum katsayı değerlerinde her bir yarık genişliği artışında sırasıyla %8.9 - %9.6 oranında gelişim göstermiştir. Blok tasarımıındaki yarık genişliği büyüdükçe, Helmholtz rezonatör formundaki boşluk hacimlerine alınan ses miktarının arttığını ve dolayısıyla daha fazla ses soğurma işlevi gördüğünü temsil etmektedir. Bununla birlikte, yüksek frekans bölgelerinde de yarık genişliğine bağlı olarak ses yutumu daha düşük düzeyde de olsa bir performans artışı olduğu görülmektedir. Referans blok örneği için bu çalışmada öngörölmüş $\alpha=0.3$ 'lük absorpsiyon bant genişliği değeri ile mukayese edildiğinde, 16 mm'lik ses emisyon yarık genişliği için $\Delta f_{0,3}=1.75f_{rez}$ ve 20 mm'lik ses emisyon yarık genişliği için ise $\Delta f_{0,3}=1.82f_{rez}$ 'dir. Blok tasarımıındaki 16 mm'lik yarık genişliği, referans bloğa göre rezonans bölgesinde yaklaşık %28.7'lik daha etkin bir ses emicilik performansına sahiptir. Benzer şekilde, 20 mm'lik yarık genişliği ise referans bloğa göre rezonans bölgesinde yaklaşık %33.8'lik daha etkin bir ses emicilik performansına sahiptir. Buradan da göröleceği üzere ses

emiyon yarık genişliği, kâğır bloğun akustik performans tasarımında önemli bir faktör olmakta ve blok elemanında arzu edilen akustik değerin sağlanabilmesi için tasarımda boyutlandırmanın önemle ve özenle yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Diğer bir irdeleme bulgusu bağlamında, 16 mm ve 20 mm’lik ses emiyon yarık genişliklerinde gürültü azaltma katsayısı sırasıyla $NRC_{16mm}=0.43$ ve $NRC_{20mm}=0.45$ olarak hesaplanmıştır. Blok elemanlarının ses yutum performansı artmasına rağmen, her iki blok tasarımının da DIN EN ISO 11654 standardında [19] öngörülen ses emici sınıfına göre kategorileri değişmemiş olup, “E” kategoride yer almaktadır. Ancak, referans blok tasarımına göre gürültü azaltma performansları önemli ölçüde artış göstererek 16 mm ve 20 mm yarık açıklığı için sırasıyla %30.3 ve %36.4 oranlarında artmıştır.

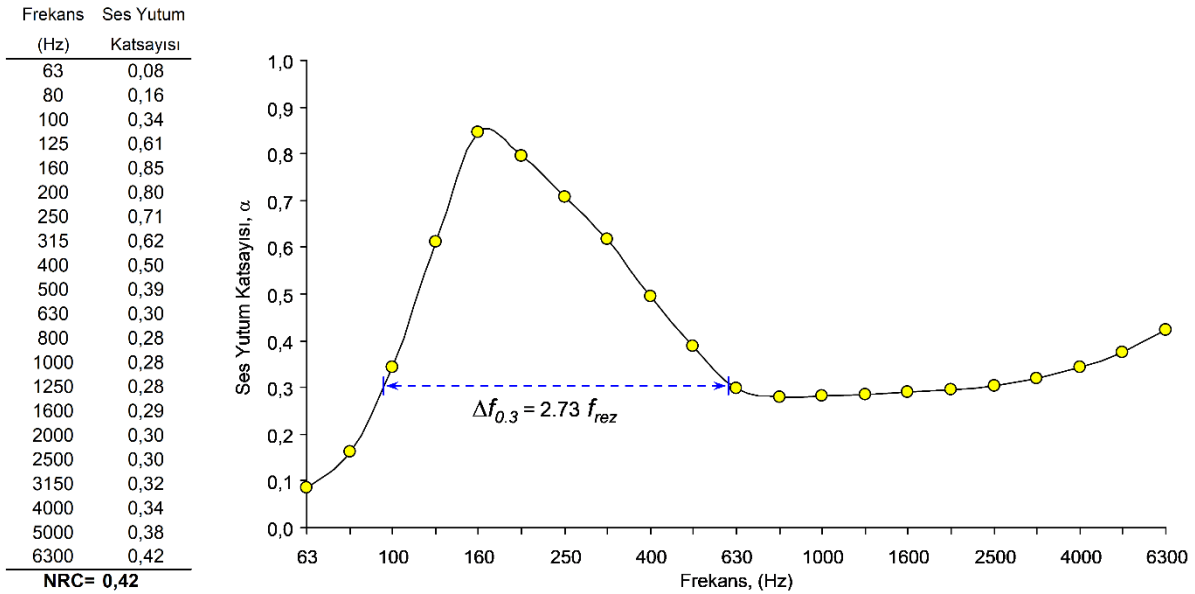
C. İlave Ses Emici Takviyeli Kâğır Blok Tasarımının Ses Yutum Özellikleri

Hafif agregalı Helmholtz rezonatör formu tasarımına sahip olan kâğır blok elemanlarının ses emicilik özelliklerinin düşük ve orta frekans bölgelerinde etkin bir değeri taşıdığı görülmüştür. Blok tasarımının yüksek frekans bölgelerinde de ses yutum özelliklerinin mevcut tasarıma göre iyileştirilebilmesi amacıyla Helmholtz rezonatör formunu oluşturan boşluk hacimleri içeresine ses soğuruculuk özelliği taşıyan gözenekli malzemeler yerleştirilerek akustik özelliği geliştirilebilmektedir. Bu özelliğin sağlanabilmesi için bu çalışma kapsamında blok örneklerinin rezonatör görevi gören her bir boşluk hacmi içeresine normal piyasa koşullarından tedarik edilen ortalama yoğunluğu $100\pm 10 \text{ kg/m}^3$ ve 7 mm kalınlıkta polyester elyaf keçe (PEK) malzeme dış bükey (konveks) form oluşturacak şekilde yerleştirilerek, ilave ses emici takviyeli kâğır blok tasarımı oluşturulmuştur. Bu yalıtım takviye elemanı (PEK), geri dönüşümünden elde edilen sentetik elyafların harmanlanarak, kolay uygulanabilir dokumasız kumaş (nonwoven) işleme yöntemi ile sıkıştırılarak uygulanabilir kalınlığa getirilmiş kimyasal katkı maddesi içermeyen ses izolasyonu amaçlı kullanılan bir malzemedir. PEK yalıtım malzemesinin inşaat sektörü haricinde otomotiv sektörü ve beyaz eşya sektöründe de nonwoven ürünler olarak akustik amaçlı kullanımı yaygın olarak görülebilmektedir. Yalıtım takviyeli kâğır blok elemanının tasarımında sırasıyla 12 mm, 16 mm ve 20 mm olarak oluşturulan 3 ayrı yarık genişliğinde blok örneklerinin ses yutum katsayı değerleri 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığındaki değişimi analiz edilmiştir. PEK takviyeli blok örneklerinin sembolik görünüşleri Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. PEK takviyeli blok örneklerinin sembolik görünümü

Rezonans frekans değeri $f_{rez}=196 \text{ Hz}$ olarak belirlenmiş olan 12 mm ses emiyonu yarık genişliğinde hafif agregalı akustik kâğır blok örneğine dış bükey formda ortalama 7 mm kalınlığında PEK malzeme takviyesi yerleştirildikten sonra 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı değişimi analiz edilmiş olup, bulgular Şekil 12’de verilmiştir.

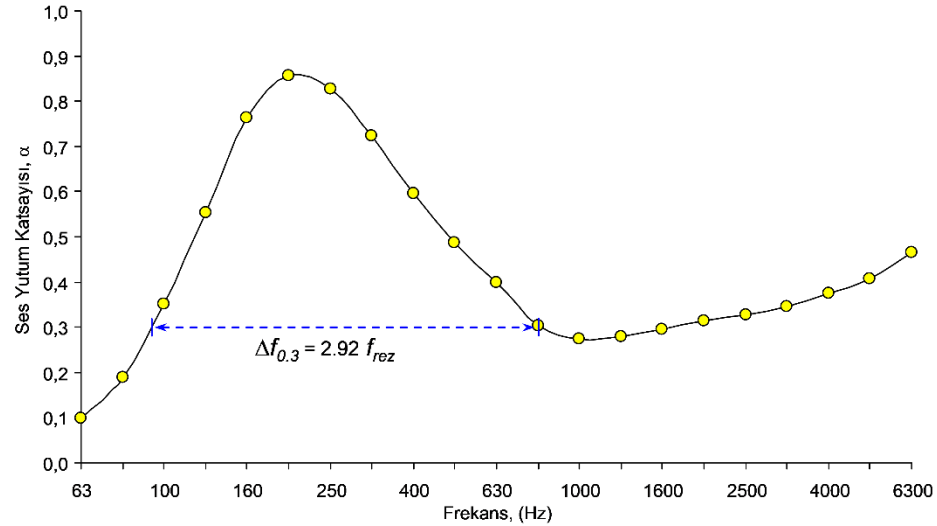


Şekil 12. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (PEK takviyeli 12 mm yarık genişlikli blok)

12 mm ses emisyonu yarık genişliğine sahip hafif agregalı blok örneğinin PEK takviyesi yapılmadan önce rezonans frekans değerinde belirlenmiş $\alpha=0.67$ 'lik değer, PEK takviyesi ile $\alpha=0.80$ seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bununla birlikte düşük frekans bölgesinde belirlenen en yüksek $\alpha=0.85$ olup, bu frekans bant genişliğinde blok tasarımının yaklaşık %29 daha fazla ses emici bir özellik kazandığı görülmüştür. Buradaki artışın sebebi, ses enerjisinin bir kısmının blok tasarımındaki Helmholtz rezonatör formu ve PEK malzemenin nonwoven dokusu ve gözeneklerinde ısı enerjisine dönüşümüyle soğurulmasına bağlanabilir. Blok tasarımındaki bu iyileşmenin bir diğer bulgusu ise, düşük ve orta frekans bölgelerinde α değerlerinin PEK takviyesiz formuna kıyasla daha yüksek ses emme değerlerine sahip olduğudur. Bunun bir sonucu olarak, blok tasarımının PEK takviyesiz formu için elde edilen $\Delta f_{0.3} = 1.58 f_{rez}$ 'lik değer, PEK takviyesiyle birlikte $\Delta f_{0.3} = 2.73 f_{rez}$ değerine yükseldiği görülmektedir. Bu da PEK takviyesinin bu tasarım formu için rezonans bölgesinde yaklaşık 1.73 kat daha etkin ses emicilik performansına sahip olduğunu temsil eder. Ayrıca, referans blok örneğine göre ise bu etkinlik değerinin yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Yüksek frekans bölgesinde ise genel olarak ses emicilik değerinin PEK takviyesiyle birlikte arttığı da görülmektedir. Diğer bir irdelemede, 12 mm'lik ses emisyon yarık genişliğinde blok örneğine PEK takviyesi yapıldıktan sonra gürültü azaltma katsayısı $NRC_{12mm+PEK}=0.42$ olarak hesaplanmıştır. DIN EN ISO 11654 standardında [19] öngörülen ses emici sınıfına göre "E" kategoride yer almaktadır. Ancak, PEK takviyesiz blok formuna göre gürültü azaltma performansının yaklaşık %13.5 artarak daha geliştiği, referans blok tasarımına göre ise yaklaşık %27 daha yüksek bir ses emici özellik kazanmıştır.

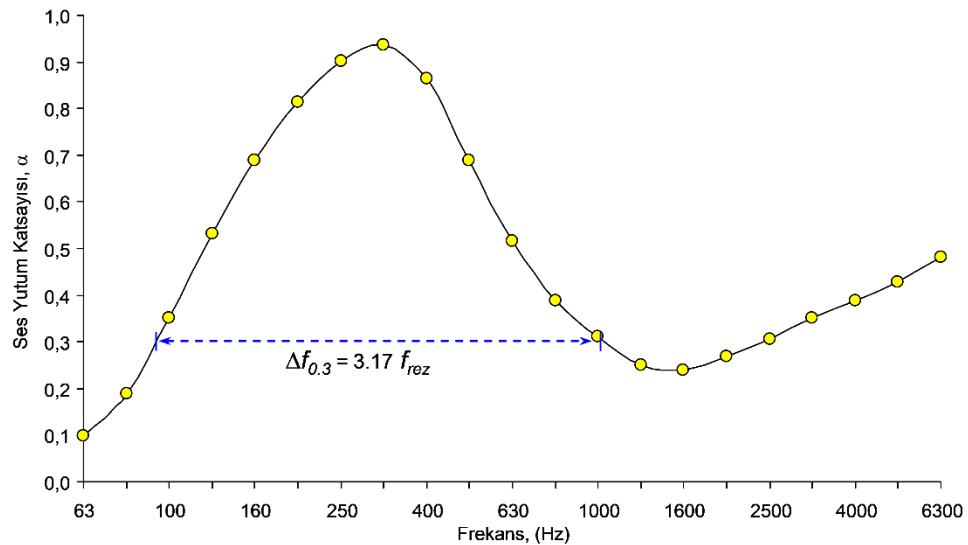
16 mm ve 20 mm ses emisyonu yarık genişliğinde hafif agregalı akustik kâgir blok örneklerine dış bükey formda ortalama 7 mm kalınlığında PEK malzeme takviyesi yerleştirildikten sonra 1/3 oktav bandında 63 Hz – 6300 Hz frekans aralığında ses yutum katsayısı değişimi analiz bulguları Şekil 13–Şekil 14'de verilmiştir.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
63	0,10
80	0,19
100	0,35
125	0,55
160	0,76
200	0,86
250	0,83
315	0,72
400	0,60
500	0,49
630	0,40
800	0,30
1000	0,27
1250	0,28
1600	0,29
2000	0,32
2500	0,33
3150	0,35
4000	0,37
5000	0,41
6300	0,47
NRC= 0,48	



Şekil 13. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (PEK takviyeli 16 mm yarık genişlikli blok)

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
63	0,10
80	0,19
100	0,35
125	0,53
160	0,69
200	0,82
250	0,90
315	0,94
400	0,86
500	0,69
630	0,52
800	0,39
1000	0,31
1250	0,25
1600	0,24
2000	0,27
2500	0,31
3150	0,35
4000	0,39
5000	0,43
6300	0,48
NRC= 0,54	



Şekil 14. Frekans – ses yutum katsayısı ilişkisi (PEK takviyeli 20 mm yarık genişlikli blok)

PEK takviyesiz 16 mm ve 20 mm ses emisyonu yarık genişliğindeki blok örneklerinin rezonans frekans değerlerinde belirlenmiş maksimum ses yutum katsayısı değerleri sırasıyla $\alpha=0.73$ ve $\alpha=0.80$ 'dir. PEK takviyesi ile birlikte sırasıyla $\alpha=0.86$ ve $\alpha=0.94$ değerlerine yükselmiştir. Düşük frekans bölgesinde PEK takviyeli 16 mm ses emisyonu yarık tasarımı kağır bloğun ses emicilik özelliğinin yaklaşık %18 oranında iyileştiği, 16 mm ses emisyonu yarık tasarımı kağır bloğun ise yaklaşık %17.5 daha iyileştiği görülmüştür. Elde edilen maksimum ses emicilik yüzde oran değeri değişimi irdelendiğinde yarık boyutu arttıkça PEK takviyesinin düşük frekans bölgesinde bloğun ses emicilik etkinliğini göreceli olarak azaltmaktadır. 16 mm ses emisyonu yarık tasarımı bloğun PEK takviyesiz formu için elde edilen $\Delta f_{0.3} = 1.75 f_{rez}$ 'lik değeri, PEK takviyesiyle birlikte $\Delta f_{0.3} = 2.92 f_{rez}$ değerine yükselmektedir. Benzer şekilde, 20 mm yarık tasarımı bloğun PEK takviyesiz formu için ise bu yaklaşımın $\Delta f_{0.3} = 1.82 f_{rez}$ 'lik değeri, PEK takviyesiyle birlikte $\Delta f_{0.3} = 3.17 f_{rez}$ değerine yükselmektedir. PEK takviyesi ile birlikte 16 mm yarık tasarımı blokta 1.67 katlık, 20 mm yarık tasarımı blokta ise 1.74 kat'lık ilave bir ses emicilik performansı sağlanmaktadır. Ancak, referans blok baz alındığında ise; 16 mm yarık tasarımı blokta

2.15 katlık, 20 mm yarık tasarımı blokta ise 2.33 katlık ses emicilik performansları gelişmektedir. Bu değerlerin genellikle düşük ve orta frekans bölgelerinde etkinlik kazandığı görülmektedir. Yüksek frekans bölgesinde ise ses emicilik değerinin PEK takviyesi ile birlikte 1000 Hz – 2000 Hz aralığında bir miktar düştüğü görülsede daha yüksek frekanslarda ses yutumu değerleri artmaktadır. 16 mm yarık tasarımı blok örneğine PEK takviyesi, gürültü azaltma katsayısı $NRC_{16mm}=0.43$ 'den $NRC_{16mm+PEK}=0.48$ değerine yükseltmiştir. Benzer olgu, 20 mm yarık tasarımı blok örneğine PEK takviyesi, gürültü azaltma katsayısı $NRC_{20mm}=0.45$ 'den $NRC_{20mm+PEK}=0.54$ değerine yükselerek gelişmiştir. Ancak PEK takviyesi, referans blok formuna göre 16 mm yarık tasarımı blokta gürültü azaltma performansını yaklaşık %45.5 iyileştirerek DIN EN ISO 11654 standardında [19] öngörülen “emici sınıfı” olarak da nitelendirilebilen “D” kategorisine gelişimini sağladığı düşünülebilir. Benzer olgu, 20 mm yarık tasarımı blokta ise gürültü azaltma performansını yaklaşık %64 iyileştirerek daha yüksek bir ses emicilik sınıfını temsil eden “C” kategorisine yükselmiştir. Bu bulgulara göre, ses emisyon yarık genişliği, Helmholtz rezonatör formu tasarımı ve boyutları, boşluk hacmi içerisine ilave ses emici takviye elemanı olarak yerleştirilebilecek malzemenin karakteristiği ve kalınlığı gibi faktörler, kâğıt blok tasarımının ses emicilik performansına doğrudan etken olan parametreler arasında yer aldığını göstermektedir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, özellikle tasarımında Helmholtz rezonatör formunun oluşturulduğu ve 3 ayrı alternatif ses emisyon yarık genişliklerinin kâğıt blok elemanının ses yutumu performansına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca, bloğun ses yutma kapasitesini artırmak için polyester elyaf keçenin takviyeli ayrı bir seri blok tasarımı incelenmiştir. Çalışma sonuçlarının karşılaştırmalı analizinin yapılabilmesi için, yarıksız ve keçe takviyesiz standart bir blok tasarımı referans olarak incelenmiş ve toplamda 7 farklı seri blok dizaynı irdelenmiştir. Çalışma bulgularına göre:

1. Düşük frekans bölgelerinde referans blok elemanının ses yutumu katsayısı 0.07 – 0.44 aralığında değişmektedir. Bu bulgu, hafif agregalı referans blok örneğinin özellikle düşük frekans bölgesinde ses yutumu açısından daha etkin bir performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır.
2. Referans blok örneğinin Gürültü Azaltma Katsayısı $NRC=0.33$ olarak hesaplanmıştır. DIN EN ISO 11654 standardında öngörülen ses emici sınıfına göre “E” kategoride yer almaktadır. Bu değere göre blok elemanı yüzeyine gelen ses dalgalarının %33'ünün kâğıt blok elemanı tarafından emildiğini, %67'lik kısmının ise ortama geri yansıtıldığını gösterir. Geri yansıtılan ses dalgalarının oransal değerinin daha düşük bir düzeye indirgenmesi için, blok elemanının tasarımında ses yutma performansını iyileştirilmesini sağlayacak alternatif tasarım değişikliklerinin yapılması gerekmektedir.
3. 12 mm, 16 mm ve 20 mm ses emisyon yarık genişliklerinde blok örneklerinin gürültü azaltma katsayıları sırasıyla $NRC_{12mm}=0.37$, $NRC_{16mm}=0.43$ ve $NRC_{20mm}=0.45$ olarak hesaplanmıştır.
4. Rezonans frekans değerleri 12mm, 16 mm ve 20 mm yarık genişliği için sırasıyla $f_{rez_12mm}=196$ Hz, $f_{rez_16mm}=251$ Hz ve $f_{rez_20mm}=303$ Hz'dir. Blok tasarımında ses emisyon yarık genişliği arttıkça, rezonans frekans değeri de artmaktadır. Bu da rezonans bölgesinde ses emicilik özelliğinde daha etkin olacağını çağrıştırmaktadır.
5. PEK takviyeli ve 12 mm, 16 mm ve 20 mm ses emisyon yarık genişliklerinde blok örneklerinin gürültü azaltma katsayıları sırasıyla $NRC_{12mm+PEK}=0.42$, $NRC_{16mm+PEK}=0.48$ ve $NRC_{20mm+PEK}=0.54$ olarak hesaplanmıştır.
6. PEK takviyesi, referans blok formuna göre 16 mm yarık tasarımı blokta gürültü azaltma performansını yaklaşık %45.5 iyileştirerek DIN EN ISO 11654 standardında öngörülen “emici sınıfı” olarak da nitelendirilebilen “D” kategorisine gelişimini sağlamıştır. Ayrıca, 20 mm yarık tasarımı blokta ise gürültü azaltma performansını yaklaşık %64 iyileştirerek daha yüksek bir ses emicilik sınıfını temsil eden “C” kategorisine yükselmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy, U. T. & Toktaş S. (2011). Dış duvar uygulamalarında ses geçirimsizliği ve ses yalıtımı özellikleri, *Engineering Sciences*, 6(4), 827-837.
- [2] Erol, H. B. (2006). *İç mekanlarda malzeme kullanımında akustik performans kriterleri*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [3] Fahy, F., & Walker, J. (2005). *Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration*. Spon Press, London and New York, UK and USA.
- [4] Hurley, J. S. (2007). *Natural Fiber Based Lightweight Sound Absorber Materials*. SAE Technical Paper Series, No: 2007-01-2197.
- [5] İzoder (2013). *İnşaat Teknolojisi Ses Yalıtımı*. Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, İstanbul, 80.
- [6] Demirkale Y.S. (2007). *Çevre ve Yapı Akustiği*, BirsenYayınevi, İstanbul.
- [7] Sousa, H., & Carvalho, A., Melo, A., (2004). A New Sound Insulation Lightweight Concrete Masonry Block. Design And Experimental Characterization, *13th International Brick and Block Masonry Conference*. July 4-7, Amsterdam.
- [8] Sousa, H., & Carvalho, A. (1998). A New Sound Absorbing Lightweight Concrete Masonry Block, *XXV IAHS World Housing Congress Proceedings*. 1, 325-332.
- [9] Koski, J. A. (1992). *Sound-absorbing concrete block, Acoustically engineered block quiet noisy areas and improve overall sound quality*. PUBLICATION #M920384, The Aberdeen Group.
- [10] Colinwell Co. (2022). *Acoustic Masonry*, <http://www.colinwell.com>
- [11] Haron, Z., Jusli, E., Nor, H. M., Jaya R. P., Yaacob, H., Yahya K., Mohamad, A., & Yahya M. N. (2018). Prediction of Sound Absorption Coefficient for Double Layer Rubberised Concrete Blocks. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.29), 704-710.
- [12] Fediuk, R., Amran, M., Vatin, N., Vasilev, Y., Lesovik, V., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Acoustic Properties of Innovative Concretes: A Review. *Materials*, 14(2), 398.
- [13] TS EN ISO 10534-1. (2004). Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio, 20.
- [14] TS EN ISO 10534-2. (2003). Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -Part 2: Transfer-function method, 27
- [15] Ghilhare, A. K., & Pandey, M. (2007). Experimental Analysis of Sound Absorption Coefficient of the Combined Mechanism of Enhanced Egg Carton, Gypsum Board and Sound Diffuser. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(8), 16400-16412.
- [16] Thermalxx Jackets. (2022). *Decibel Drop and Noise Reduction Coefficients for Material Combinations*. <https://blog.thermalxxjackets.com/decibel-drop-noise-reduction-coefficients-for-material-combinations>, (25.12.2022).
- [17] Arge Yapı İzolasyon. (2022), *Ses Yalıtım Malzemeleri*. <https://www.argeyapiizolasyon.com/ses-yalitim-malzemeleri>, (25.12.2022).
- [18] ASTM C423. (2022). Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method
- [19] TS EN ISO 11654. (2002). Acoustics - Sound absorbers - Rating of sound absorption coefficients.