

## Su Kabağı Lifi (*Luffa Cylindrica*)-Epoksi Kompozitinde Sesin Yutulma Performansını Etkileyen Parametreler

Oya KESKİN<sup>1</sup>, Sevta YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 07190, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34367, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 29.01.2020, Kabul / Accepted: 25.02.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Su kabağı lifleri,  
Doğal lifli kompozit,  
Epoksi bağlayıcı,  
Ses yutma katsayısı,  
Ses azaltım katsayısı

**Özet:** Her mekânın kullanım amacına yönelik, yönetmeliklerle belirlenmiş uygun ses düzeyi aralıkları vardır. Mekan içerisinde, ses düzeyinin istenen seviyeye getirilmesi bitirme malzemelerinin ses yutma özellikleri kullanılarak sağlanmaktadır. Pratikte oldukça yaygın kullanılan cam yünü gibi malzemeler, özellikle uygulama sırasında insan sağlığı için zarar verici olmaktadır. Bu nedenle de pek çok alanda olduğu gibi, ses yutma malzemelerinde de doğal malzeme arayışı özellikle son yıllarda daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada\*, doğal bir bitki lifi olan Su Kabağı (LC) lifleri kullanılarak üretilen kompozitler ile insan sağlığı için zararlı olmayan alternatif bir ses yutucu malzeme üretimi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, su kabağı (LC) lifleri epoksi bağlayıcı ile kullanılarak kompozit malzeme üretilmiş ve empedans tüpü yöntemi ile numunelerin ses yutma katsayıları belirlenmiştir. Aynı zamanda, malzeme kalınlığı ve lif oranı parametrelerinin ses yutma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuş ve karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar, malzeme kalınlığı ve lif oranının ses yutma performansı üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

## Parameters Affecting the Sound Absorption Performance of *Luffa Cylindrica* Fibers-Epoxy Composite

### Keywords

*Luffa Cylindrica*,  
Natural fiber composite,  
Epoxy binder,  
Sound absorption coefficient,  
Noise reduction coefficient

**Abstract:** There are appropriate sound level ranges determined by regulations for the intended use of each place. In the room acoustics, finishing material's sound absorption coefficients are used to calculate the reverberation time. Materials such as glass wool, which are widely used in site, are harmful for human health, especially during application. For this reason, as in many fields, the search for natural materials in sound absorption materials has become more important especially in recent years. In this study, it is aimed to produce an alternative sound absorbing material that is not harmful to human health with composites that will be produced by using a natural plant fiber named *Luffa Cylindrica*. In this context, using the *Luffa Cylindrica* fibers with epoxy binder, composite material is produced and the sound absorption coefficients of the samples are determined by impedance tube method. Also, the effect of material thickness and fiber ratio parameters on sound absorption performance are examined. The results are presented in graphs and compared to each other. The results showed that the material thickness and fiber ratio had an effect on sound absorption performance.

### 1. Giriş

Günlük yaşamda, insanlar kapalı mekânlarda (ofis, restoran, okul, tiyatro salonu vb.) farklı ses düzeylerine maruz kalmaktadırlar. Kapalı mekan içerisindeki ses düzeylerinin, belirlenen değerlerin üzerinde ya da çok altında olması; insanları farkında

olmasalar dahi olumsuz yönde etkilemektedir. Kuttruff, [1], bu durumu pek çok insanın maruz kaldıkları akustik ortamın farkında olmalarına rağmen, bunu 'iyi veya zayıf akustik' olarak tanımlayarak sebeplerini anlayabilen çok az sayıda kişi olduğunu söylemiştir. Farklı mekanlar için olması gereken ses düzeyleri her ülkenin kendine ait

\*İlgili yazar: oya.keskin@antalya.edu.tr

yönetmeliklerinde belirtilmiştir. Türkiye için bu değerler 'Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik' 30082 sayılı Resmi Gazete'de 2017 yılında yayınlanmıştır [2]. İnsanların, akustik açıdan konforlu bir ortamda bulunmaları için mekan içerisindeki ses düzeylerinin ayarlanması gerekmektedir. Kapalı bir mekanda ses düzeylerinin ayarlanması, farklı bitirme malzemelerinin ses yutma değerleri kullanılarak sağlanır.

Çoğu ortamda duyulan ses, doğrudan sesin kaynağından veya kaynaklardan, yüzeylerden ve diğer nesnelere gelen dolaylı yansımalarından oluşan bir kombinasyondur. Örneğin, oda akustiğinde, hem doğrudan ses hem de duvarlardan, tavan ve yerden gelen ses yansımaları, akustik kalitesini belirlerken önemlidir [3]. Ses herhangi bir fiziksel nesne ile etkileşime girdiğinde yutulur. Bunun bir nedeni, ses dalgası bir nesneye çarptığında, o nesnenin sonsuz katı olmadıkça titreşim yapmasıdır. Bu, titreşim enerjisinin ses dalgasından çarptığı nesneye aktarıldığı anlamına gelmektedir. Bu enerjinin bir kısmı, nesnenin yapıldığı malzemedeki iç sürtünme kayıplarından dolayı yutulmaktadır. Bir başka enerji kaybı biçimi de ses dalgasının gözenekli bir yüzeye çarptığında ya da geçtiğinde ortaya çıkar. Tüm lifler ve delikler nedeniyle malzeme çok geniş bir yüzey alanı vardır. Ses dalgasının hız bileşeninin yüzey ile etkileşimi nedeniyle malzemenin yüzeyinde sürtünme kayıpları oluşmaktadır [4]. Yutulan enerjinin yutuculuk kısmı ses yutma katsayısı ( $\alpha$ ) ile ölçülmektedir. Yüksek derecede yansıtıcı malzemelerin ses yutma katsayısı 0'a, yüksek derecede yutucu malzemelerin ses yutma katsayısı 1'e yakındır. Neredeyse hiçbir malzeme tamamen yutucu veya tamamen yansıtıcı değildir. Genel olarak, ses yutma katsayısı 0.20 ve altı malzemeler oldukça yansıtıcı kabul edilirken, yüksek yutucu malzemelerin ses yutma katsayıları 0.80 ve üzeridir. Sesin yutulması tıpkı sesin azaltımında olduğu gibi frekansa bağlıdır [5].

Bir mekânın hacminin akustik performans üzerindeki temel etkisi bulunduğundan beri çınlama süresi en önemli akustik parametre olarak kullanılmaktadır. Çınlama süresi genel olarak, alıcıya gelen direkt sestense sonra 50-100ms içerisinde yine alıcıya ulaşan yansıyan ses olarak tanımlanabilir [6]. Mekânların kullanım amaçlarına göre uygun akustik ortam için sağlanması gereken çınlama süreleri de değişiklik göstermektedir. Mekân içerisinde gerekli çınlama süresinin ayarlanmasında, Sabine formülü bağlamında bitirme malzemelerinin ses yutma katsayıları kullanılmaktadır. Sesin yutulması için kullanılan malzemeler genellikle lifler, köpükler, delikli paneller, zarlar, rezonatörler ve farklı kompozit malzemeler olarak sıralanabilir. Nor vd. [7] ve Zulkifli vd. [8] özellikle inşaat sektöründe tercih edilen ses yutucu malzemelerin cam veya mineral yünü malzemeler olduğunu belirtmişlerdir, Ayrıca Nor vd. [7] bu malzemelerin ticari pazardaki

hâkimiyetleri nedeniyle alternatif malzemelerin üretiminin nispeten zayıf kaldığını da eklemiştir. Ancak son yıllarda duvar veya panel içerisinde kullanılan cam ve mineral yünü malzemelerin özellikle uygulama sırasında akciğer problemleri, göz problemleri gibi işçi sağlığına olan olumsuz etkileri nedeniyle farklı malzemelere yönelim başlamıştır. Biswal, [9], araştırmacıların; özellikle lifli kompozit malzemelerde daha iyi mekanik özellikler göstermesi, daha kolay elde edilebilmesi ve daha ucuz olmaları nedeniyle sentetik lifler yerine organik liflere yöneldiğini söylemiştir. Organik liflerin akustik malzeme olarak kullanım avantajı; maliyetinin daha düşük olması, kolaylıkla elde edilebilir olması, yenilenebilir ve aşınmaya dayanıklı olması, uygulama kolaylığı ve uygulama ve kullanım sırasında insan sağlığını tehdit etmiyor oluşudur.

Doğal liflerin kompozit malzemelerde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, ses yutucu malzemelerde doğal lif kullanımıyla ilgili literatürde pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Koizumi vd. [10], bambu lifleri ve bağlayıcı kullanarak yaptığı çalışmada ürettiği kompozit malzemelerin ses yutma performansı, karakteristik empedans ve dağılıma sabiti özelliklerini incelemiştir. 2009 yılında doğal lifler kullanılarak yapılan başka bir çalışmada çay yaprağı lifleri kullanılmış ve farklı kalınlıkların ses yutma performansına etkisi gözlemlenmiştir [11]. Kalınlığın ses yutuculuğuna etkisi ile ilgili 2010 yılında yapılan diğer bir çalışmada Malezya Palmiyesi lifleri kullanılmıştır [12]. Kenaf lifleri ve polysterin ses yutma performanslarının incelendiği çalışma, Alba vd. [13] tarafından gerçekleştirilmiştir. Veerakumar ve Selvakumar, [14], Kapok lifleri ile polypropolan'ı karıştırarak kompozit malzeme üretmiş ve malzemenin ses yutma katsayısı ve ses azaltım katsayısını (NRC) ölçmüştür. Çay yaprağı liflerinin izosiyanat ve polioli ile karışımıyla kompozit üreten Ekici vd. [15], kompozitlerin ses yutma performanslarını değerlendirmişlerdir. 2013 yılında Kapok doğal lifleri kullanılarak yapılan başka bir çalışmada kompozit malzeme üretirken liflerin diziliminin ses yutuculuğuna etkisi araştırılmıştır [16]. Kapok, pamuk otu ve ipek otu lifleri ile yapılan çalışmada malzeme kalınlığı ile ses yutma performansı ilişkisi incelenmiştir [17]. Thigalavathi vd. [18] yaptıkları çalışmada, su kabağı (LC) lifleri ile yaptıkları çalışmada lifler içerisinde kapok ve pamuk lifleri karıştırarak ses yutma performansındaki değişimleri incelemişlerdir. Hindistan cevizi lifleri ile polivinil alkol karıştırılarak kompozit üretilen bir çalışmada farklı kalınlıklı kompozitlerin ses yutma performansına etkisi ölçülmüş ve farklı hesaplama yöntemlerine göre sonuçlarda karşılaştırma yapılmıştır [19]. Yuvaraj vd. [20], çalışmalarında, su kabağı (LC) lifleri ve poliüretan köpük kullanılarak kompozit üreterek, özellikle su kabağı lifi eklenen kompozitlerde ses yutma performansının artışı incelemişlerdir. Mohammad vd. [21] farklı malzeme kalınlığı ve farklı oranda hurma ağacı lifleri ile

Hindistan cevizi liflerinin ses yutma performansı üzerine ölçümler yapmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Su kabağı (LC) lifleri ve epoksi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada kompozitlerin ses yutma, ses geçiş kaybı ve mekanik özellikleri incelenmiştir [22]. Taban vd. [23], yaptıkları diğer bir çalışmada hurma ağacı liflerine polivinil alkol ekleyerek kompozit malzemeler üretmiş ve malzeme kalınlığı, lif oranı, hava boşluğu gibi farklı parametrelerin kompozitlerin ses yutma performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.

Tüm bu bilgiler ve literatürde yapılmış çalışmalar doğrultusunda, bu çalışmada insan sağlığına zarar vermeyen doğal lifli bir kompozit malzemenin ses yutma performansı ve ses azaltım katsayısının, malzeme kalınlığı ve hacimce lif oranına bağlı olarak değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, kompozit üretmek için doğal bir bitki lifi olan su kabağı (LC) lifleri ile bağlayıcı olarak termoset grubundan epoksi kullanılmıştır.

Su kabağı lifleri selüloz ve odun özü içermektedir. Farklı yönlerdeki liflerden oluşan odunsu bir yapısı vardır. Bu lifler doğal bir reçineyle bir arada tutulmaktadır. %60 selüloz, %30 yarı selüloz, %10 odun özü içermektedir [24]. Düşük maliyeti, geri dönüşüm özelliği ve insan sağlığı için zarar teşkil etmemesi nedeniyle son zamanlarda farklı alanlarda tercih edilmektedir. Bir grup sert, sıkı liften oluşan lifler aşınmaya meyillidir [25].

Epoksi reçinesinin sentezi 1930'lu yıllarda başlamış ve 1940'lı yıllarda sanayi üretimine geçmiştir. Epoksi reçine, kompozit içerisinde kullanımında yüksek mekanik mukavemet, mükemmel dielektrik özellikleri ve iyi kimyasal korozyon direnci ile liflerle güçlü bir bağ oluşturur. Son yıllarda epoksi reçine ve sertleştirici madde türleri büyük oranda gelişerek, özellikle karbon ve bor lifli kompozit malzemelerin yerine geniş uygulama alanları bulmaktadır [26]. Bu bağlamda, su kabağı (LC) lifleri epoksi bağlayıcı ile kullanılarak elde edilen kompozit malzemenin ses yutma katsayıları belirlenmiştir.

### 2.1. İncelenen parametreler

Çalışma kapsamında, su kabağı (LC) lifleri ve epoksi kullanılarak üretilen kompozit malzemede malzeme kalınlığı ve kompozit içerisindeki lif oranının ses yutma performansı ve ses azaltım katsayısına etkisi incelenmiştir.

İncelenecek parametreler belirlendikten sonra her bir parametre için tanımlanan özellikler aşağıda verildiği gibidir;

- Malzeme kalınlığı: 1cm-3cm-5cm
- Hacimce lif oranı: %10- %30-%50-%70-%90

Belirlenen parametrelere göre su kabağı (LC) ve epoksi kullanılarak kompozit malzeme örnekleri üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneleri için belirlenen kodlar aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Numune Kodları

Numune Kodu	Malzeme kalınlığı ve lif oranı
SE 1-10	1 cm, %10
SE 1-30	1 cm, %30
SE 1-50	1 cm, %50
SE 1-70	1 cm, %70
SE 1-90	1 cm, %90
SE 3-10	3 cm, %10
SE 3-30	3 cm, %30
SE 3-50	3 cm, %50
SE 3-70	3 cm, %70
SE 3-90	3 cm, %90
SE 5-10	5 cm, %10
SE 5-30	5 cm, %30
SE 5-50	5 cm, %50
SE 5-70	5 cm, %70
SE 5-90	5 cm, %90

### 2.2. Kompozitlerin hazırlanması

Doğadan ham halde elde edilen su kabağı (LC) lifleri, ilk olarak liflerin yumuşatılması ve temizlenmesi işlemlerinden geçirilmiştir. Daha sonra, lifler Şekil 1'de gösterildiği gibi parçalara ayrılmış ve kompozit içerisinde kullanılacak hale getirilmiştir.



**Şekil 1.** Kompozit içerisinde kullanım için hazır hale getirilmiş lifler

Liflerin hazırlığı tamamlandıktan sonra, daha önce belirlenmiş hacim oranlarına göre farklı kalınlıktaki kaplara lifler yerleştirilmiş ve içerisine epoksi enjektisi yapılmıştır. Bu yöntem, literatürde 'El ile Yayma Yöntemi (Hand Lay-up)' olarak geçmektedir. El ile yayma (hand lay-up) yöntemiyle üretilen lif takviyeli kompozitlerde termoset polimer bağlayıcı kullanılması tipik bir işlemdir [26]. Tüm kalıplara, gerekli düzeyde epoksi enjektisi yapıldıktan sonra, kompozitler 48 saat süreyle oda sıcaklığında kürlmeye bırakılmıştır.

### 2.3. Ses yutma katsayısı ölçümleri

Ses yutma katsayısı tayininde, yaygın olarak duran dalga yöntemi ve çınlama odası yöntemi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, empedans tüpü kullanılarak duran dalga yöntemi ile kompozit numunelerinin ses yutma katsayıları belirlenmiştir. Testler, Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemesi laboratuvarında, BİAS mühendislik tarafından üretilen TestSense empedans tüpü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

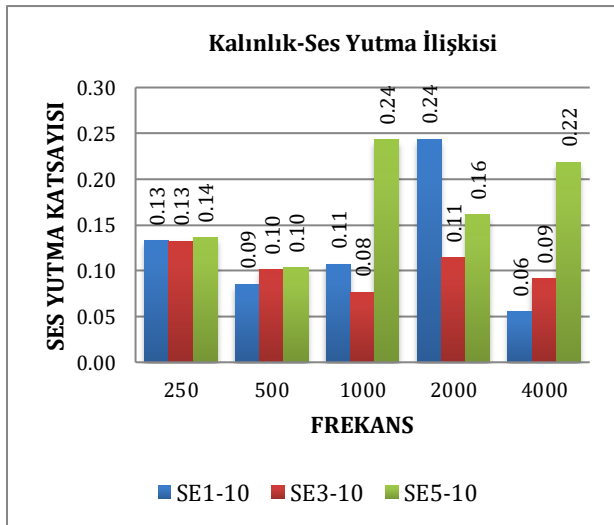
Cihazın hassasiyet düzeyinin artırılması için faz kalibrasyonu yapıldıktan sonra, farklı kalınlık ve lif oranında üretilen her bir numune için ayrı ayrı ses yutma testleri yapılmış ve 1/3 oktav bandında 250-4000Hz aralığında ses yutma katsayıları elde edilmiştir.

### 3. Bulgular

Ses yutma katsayısı ölçümleri tamamlandıktan sonra, daha önceden belirlenen malzeme kalınlığı ve hacimce lif oranı parametrelerinin ses yutma performansına etkisini incelemek için elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

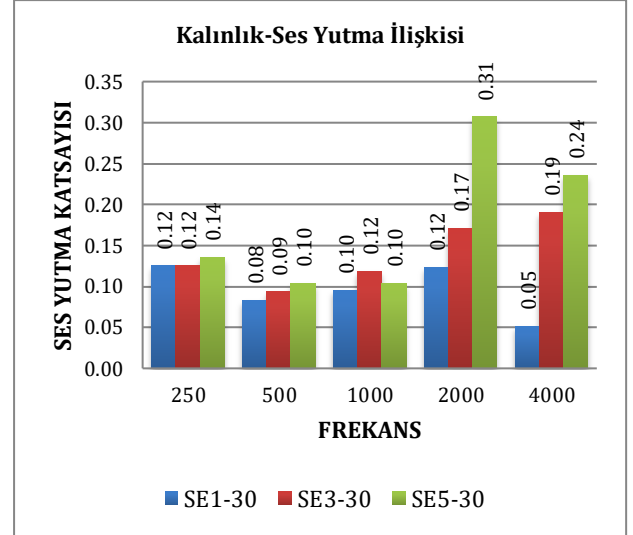
#### 3.1. Malzeme kalınlığı-ses yutma performansı ilişkisi

Malzeme kalınlığının ses yutma performansına etkisini incelemek için aynı kalınlıklı farklı lif oranlı malzemeler kendi içlerine karşılaştırılmıştır. İlk olarak, %10 lif oranlı numunelerde kalınlığın etkisi kıyaslanmış ve Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, lif oranının oldukça düşük olduğu bu 3 numunede, en iyi ses yutma performansı 1000 Hz'de 5cm kalınlıkta ve 2000Hz'de 1cm kalınlıkta elde edilmiştir. Özellikle, 2000 Hz'de 1cm kalınlıklı malzemede ses yutma performansının diğerlerine göre daha yüksek çıkmasının nedeni olarak kalınlık azlığından dolayı liflerin yüzeye daha yakın olması söylenebilir.



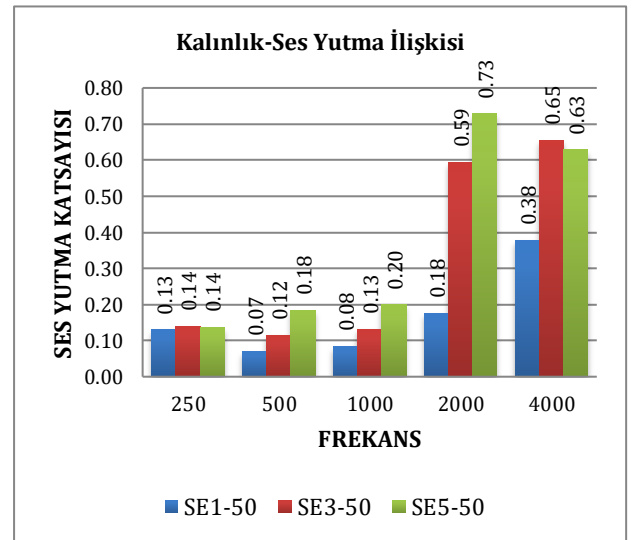
Şekil 2. %10 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı malzemelerin ses yutma performansının karşılaştırması

Şekil 3'te, %30 lif oranlı 3 farklı kalınlıklı numunenin ses yutma performansı ilişkisi verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 250, 500 ve 1000 Hz'de tüm kalınlıklarda benzer ses yutma performansları dikkate çarpmaktadır. 2000 ve 4000 Hz olan yüksek frekanslarda, 5cm kalınlıklı malzeme daha yutucu bir performans sergilemiştir. Yine de sonuçlar ses yutma açısından istenen düzeyde değildir. Bunun nedeni, lif oranının düşüklüğüdür.



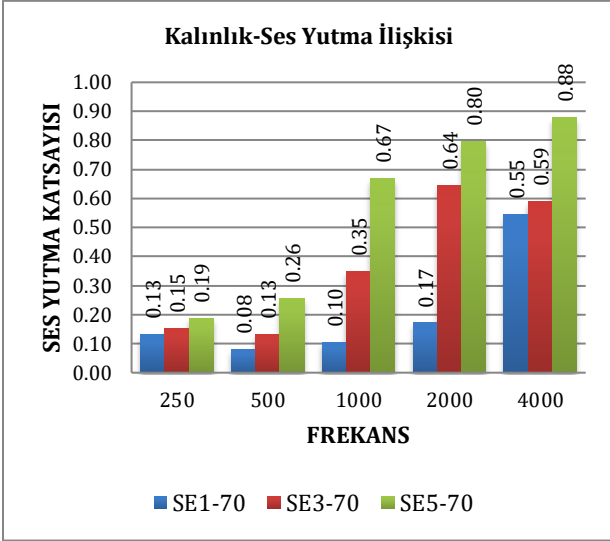
Şekil 3. %30 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı malzemelerin ses yutma performansının karşılaştırması

% 50 lif oranlı numunelerin ses yutma performansları Şekil 4'te verilmiştir. 250Hz'de çok etkili olmayan kalınlık parametresi, orta ve yüksek frekanslarda kalınlığın artması ile birlikte artış göstermiştir.



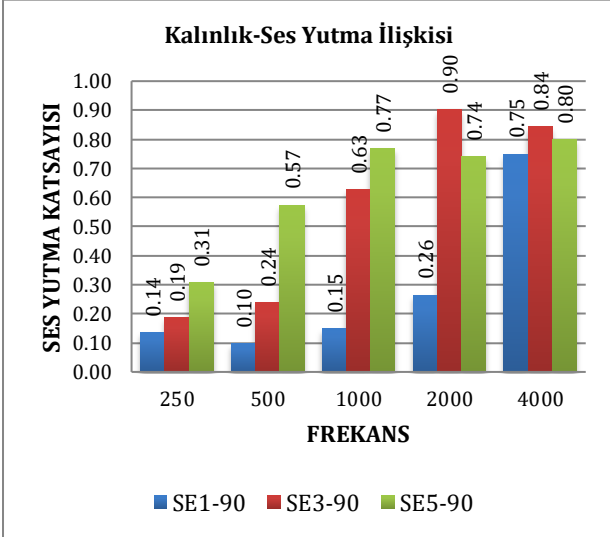
Şekil 4. %50 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı malzemelerin ses yutma performansının karşılaştırması

Ses yutma performansı üzerinde kalınlığının etkisinin incelendiği diğer bir grafik Şekil 5'te sunulmuştur. Lif oranının %70 olduğu numunelerde, bütün frekanslarda kalınlık artışı ile birlikte ses yutma katsayısında da artış meydana gelmiştir.



Şekil 5. %70 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı malzemelerin ses yutma performansının karşılaştırması

Kalınlığın ses yutma performansı üzerindeki etkisinin incelendiği son grafik Şekil 6'da verilmiştir. %90 lif oranı ile hazırlanan numunelerde özellikle yüksek frekanslarda tüm kalınlıklarda ses yutucu bir performans gözlemlenmiştir. Özellikle bu grafikten de anlaşılacağı üzere, kalınlık artışı daha çok alçak frekanslarda etkili bir parametre olduğundan, yüksek frekanslarda dalgalanma olurken alçak frekanslarda kalınlık artışı ile birlikte ses yutma katsayısının da arttığı açıkça görülmektedir.

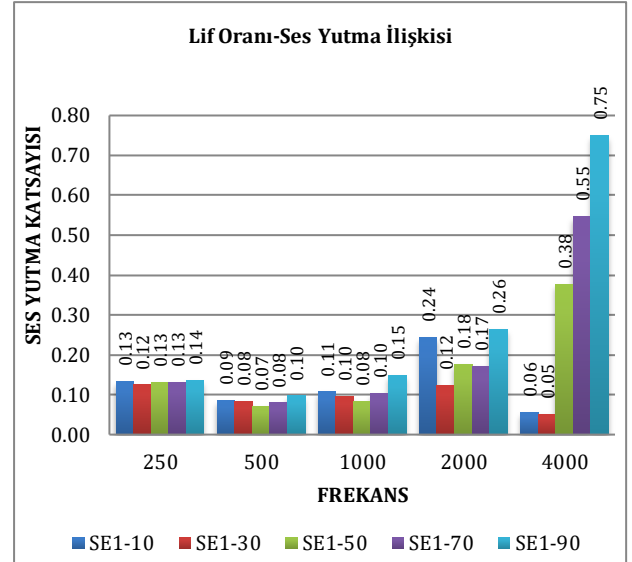


Şekil 6. %90 lif oranlı 1cm, 3cm ve 5cm kalınlıklı malzemelerin ses yutma performansının karşılaştırması

### 3.2. Lif oranı-ses yutma performansı ilişkisi

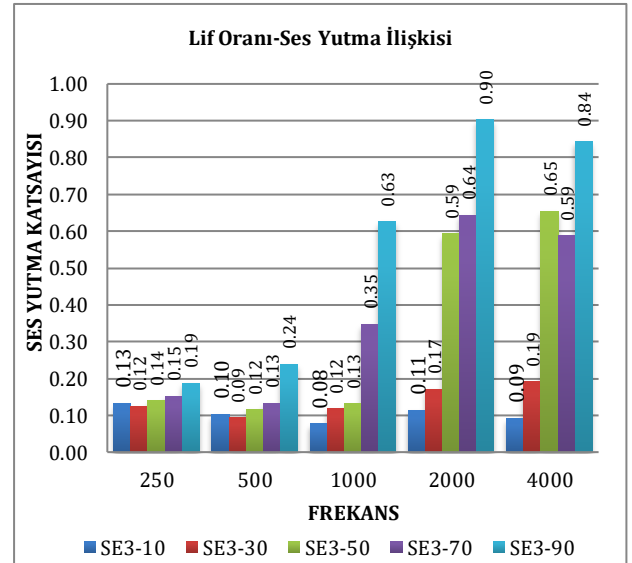
Bilindiği üzere, lifli kompozit malzemelerde, malzeme içerisinde kullanılan lif oranı özellikle orta ve yüksek frekanslarda ses yutuculuğu açısından etkili bir parametredir. Lifli malzemelerde, gelen ses dalgaları lifler arasında titreşime yol açar ve ses enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Birim alan başına düşen lif miktarının artması ile lifler arasındaki etkileşim de artacağından ses yutma performansında artış

gözlemlenir. Bunu ölçmek için, üretilen numuneler arasında aynı kalınlıklı numunelerde hacimce farklı lif oranlarının ses yutma sonuçlarına etkisi incelenmiştir. İlk olarak, 1cm kalınlıklı numunelerde lif oranının ses yutma performansına etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 7'de sunulmuştur. 1 cm kalınlıklı numunelerde, tüm frekanslarda en iyi yutma performansını %90 lif oranlı numune vermiştir. Özellikle 4000 Hz'de, %50, %70 ve %90 lif oranlı numunelerin ses yutma katsayıları oldukça yüksek çıkmıştır.



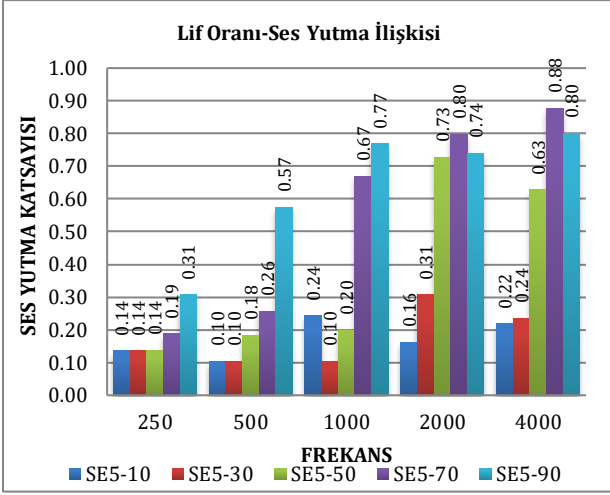
Şekil 7. 1cm kalınlıklı malzemelerde farklı lif oranlarının ses yutma performansına etkisi

Lif oranı artışı ile ses yutma katsayısının ilişkisinin incelendiği diğer bir analiz 3cm kalınlıklı numuneler arasında yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Özellikle orta ve yüksek frekanslarda fark daha çok olmakla birlikte, tüm frekanslarda lif oranı artışı ile ses yutma katsayısının da artarak 1'e yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 8. 3cm kalınlıklı malzemelerde farklı lif oranlarının ses yutma performansına etkisi

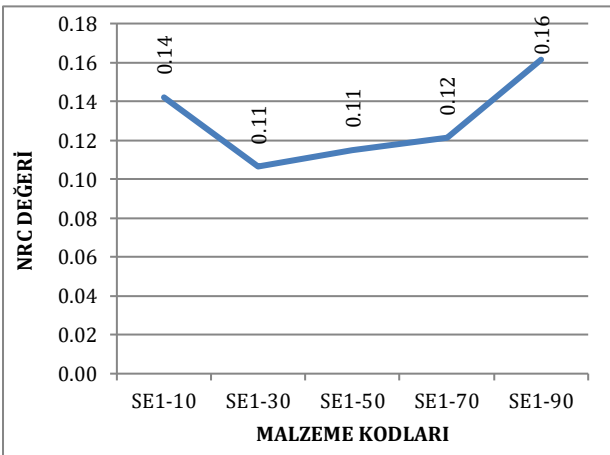
Son olarak, 5cm kalınlıklı numunelerde 5 farklı lif oranının ses yutma katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 9'daki sonuçlara bakıldığında, özellikle alçak ve orta frekanslarda lif oranı ile birlikte kalınlık artışının da devreye girmesi ile daha yutucu sonuçların elde edildiği söylenebilir. Grafik detaylı incelendiğinde, yüksek frekanslarda lif oranının ses yutma üzerinde ciddi bir etkisi olduğunu sonucuna varılmıştır.



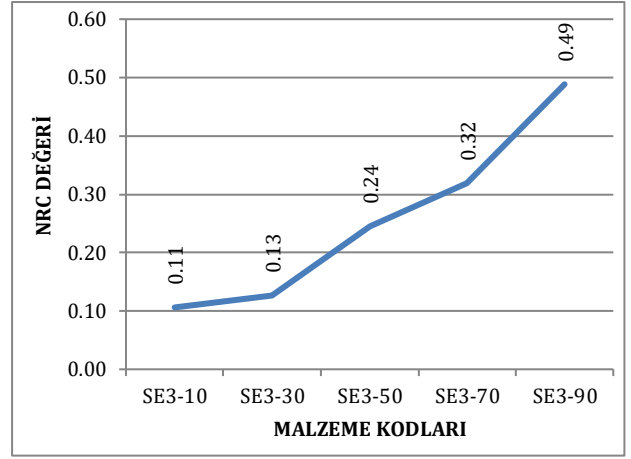
Şekil 9. 5cm kalınlıklı malzemelerde farklı lif oranlarının ses yutma performansına etkisi

### 3.3. Lif oranı-ses azaltım katsayısı (NRC) ilişkisi

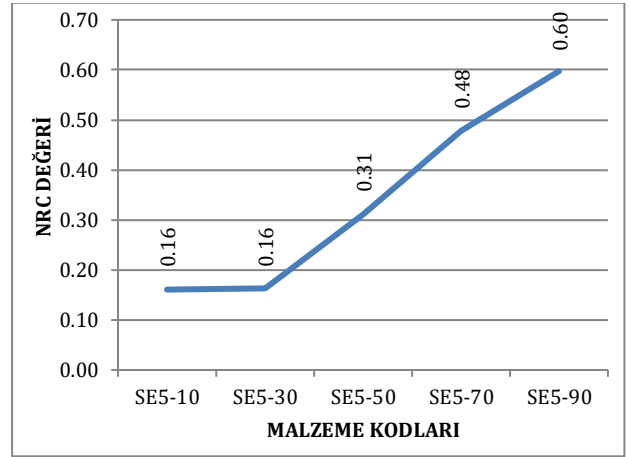
Ses azaltım katsayısı (NRC) bir malzemenin ses yutma performansının tek bir sayı ile gösterilmesidir. Bir malzemenin, 250Hz-2000Hz arasındaki ses yutma katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Ses yutucu bir malzeme seçiminde elbette yalnızca ses azaltım katsayısı değerine bakmak doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Ancak, özellikle yüksek frekanslarda akustik iyileştirme ya da çınlama kontrolü gereken mekanlarda ses azaltım katsayısına (NRC) bakarak seçim yapılabilir. Buna göre, 1cm kalınlıklı numunelerin NRC grafiği Şekil 10'da, 3cm kalınlıklı numunelerin NRC grafiği Şekil 11'de ve 5cm kalınlıklı numunelerin NRC grafiği Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 10. 1cm kalınlıklı malzemelerin ses azaltım katsayısı değerleri



Şekil 11. 3cm kalınlıklı malzemelerin ses azaltım katsayısı değerleri



Şekil 12. 5cm kalınlıklı malzemelerin ses azaltım katsayısı değerleri

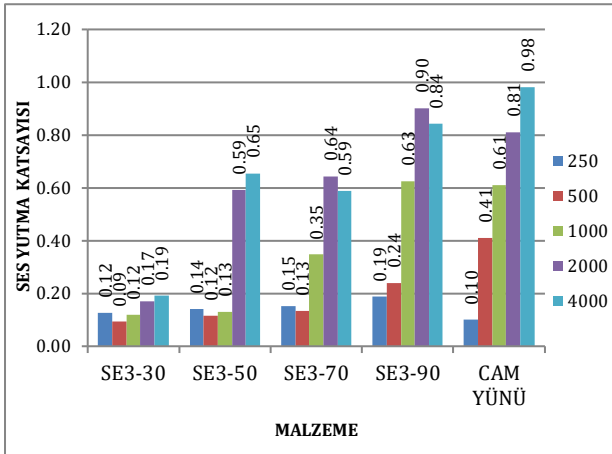
Grafikler incelendiğinde, ses azaltım katsayısı değerinin 1cm kalınlıklı numunelerde, farklı lif oranlarında, dikkate değer düzeyde değişmediğini söylemek mümkündür. Aradaki farkın en yüksek çıktığı düzey %70 ve %90 lif oranlı numuneler arasındadır ve bu değer 0.04 olduğu için ihmal edilecek düzeydedir. Ancak, 3cm ve 5cm kalınlıklı numunelere bakıldığında, ses azaltım katsayısı değerlerinin lif oranının artması ile birlikte gözle görülür düzeyde arttığını söyleyebiliriz. Buna göre, doğal lifli malzemelerde özellikle malzeme kalınlığının fazla olduğu numunelerde, ses azaltım katsayısı değerinin lif oranı artışı ile birlikte yükseldiği belirlenmiştir.

## 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, doğal bir bitki lifi olan su kabağı (LC) lifleri kullanılarak farklı fiziksel özellikli kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Kompozit içerisinde bağlayıcı olarak epoksi tercih edilmiştir. Malzeme kalınlığı ve kompozit içerisindeki hacimce lif oranının ses yutma performansına etkisinin incelendiği bu çalışmada, 3 farklı kalınlıklı ve 5 farklı lif oranlı numuneler laboratuvar ortamında üretilmiş ve ses yutma testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel

amacı, insan sağlığı açısından tehdit oluşturmayan ve üretimi hızlı ve üretim maliyeti düşük su kabağı (LC) liflerinin ses yutma malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemek olmuştur.

Sektörde yaygın olarak kullanılan cam yünü malzemesinin özellikle uygulama aşamasında insan sağlığına olan olumsuz etkileri bilinmektedir. Şekil 13'te 2010 yılında yapılmış bir çalışmadan alınan 3cm kalınlıklı cam yünü malzemesinin ses yutma katsayısı değerleri ile [27] bu çalışma kapsamında farklı lif oranları ile hazırlanan 3cm kalınlıklı kompozit numunelerinin sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle %90 lif oranlı kompozitin cam yününe alternatif bir ses yutma malzemesi olarak kullanılabilceği söylenebilir. Ayrıca özellikle 5cm kalınlıklı %90 lif oranlı kompozit, yüksek ses yutma katsayı değerleri nedeniyle, piyasada bulunan pek çok ses yutucu malzemeye alternatif olarak tercih edilebilir. İlerleyen dönemlerde, kompozitlerin ses yutma performanslarını geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaya devam edecektir.



Şekil 13. 3cm kalınlıklı su kabağı (LC) lifli kompozit numuneleri ile 3cm kalınlıklı cam yünü malzemesinin ses yutma katsayılarının karşılaştırması

### Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Bilimleri doktora programında Prof. Dr. Sevtap Yılmaz danışmanlığında Oya Keskin tarafından yürütülmekte olan doktora tezi verileri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sürecinde, kompozit numunelerinin üretilmesinde yardımlarını esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarı yetkililerine ve ses yutma katsayısı ölçümlerinin gerçekleştirildiği Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Laboratuvarı hocalarına teşekkürü bir borç bilirim.

### Kaynakça

[1] Kuttruff, H. 2009. Room Acoustics. 5th edition. Spon Press, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon Oxon, 389s.

[2] Resmi Gazete 2017. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-7.htm> (Erişim Tarihi:23.01.2020).

[3] Cox, T., d'Antonio, P. 2016. Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application. 3rd edition. Crc Press, Boca Raton, 575s.

[4] Howard, D. M., Angus, J. 2017. Acoustics and Psychoacoustics. 5th edition. Routledge, New York, 518s.

[5] Cavanaugh, W. J., Tocci, G. C., Wilkes, J. A. 2010. Architectural Acoustics: Principles and Practice. 2nd edition. John Wiley & Sons, Hoboken New Jersey, 329s.

[6] Fuchs, V. H. 2013. Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 607s.

[7] Nor, M. J. M., Jamaludin, N., Tamiri, F. M. 2004. A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibers. Electronic Journal Technical Acoustics, 3, 1-8.

[8] Zulkifh, R., Nor, M. M., Tahir, M. M., Ismail, A. R., Nuawi, M. Z. 2008. Acoustic Properties of Multi-Layer Coir Fibres Sound Absorption Panel. Journal of Applied Sciences, 8(20), 3709-3714.

[9] Biswal, M., Sahu, S. K., Asha, A. V. 2016. Vibration of Composite Cylindrical Shallow Shells Subjected to Hygrothermal Loading- Experimental and Numerical Results. Composites Part B: Engineering, 98, 108-119.

[10] Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi, A. 2002. The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers. WIT Transactions on The Built Environment, 59.

[11] Ersoy, S., Küçük, H. 2009. Investigation of Industrial Tea-Leaf-Fibre Waste Material for Its Sound Absorption Properties. Applied Acoustics, 70(1), 215-220.

[12] Ismail, L., Ghazali, M. I., Mahzan, S., Zaidi, A. M. A. 2010. Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. World Academy of Science, Engineering and Technology, 67, 804-806.

[13] Alba, J., del Rey, R., Ramis, J., Arenas, J. 2011. An Inverse Method to Obtain Porosity, Fibre Diameter and Density of Fibrous Sound Absorbing Materials. Archives of Acoustics, 36(3), 561-574.

[14] Veerakumar, A., Selvakumar, N. 2012. A Preliminary Investigation on Kapok Polypropylene Nonwoven Composite for Sound Absorption. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 37, 385-388.

[15] Ekici, B., Kentli, A., Küçük, H. 2012. Improving Sound Absorption Property of Polyurethane

- Foams by Adding Tea-Leaf Fibers. Archives of Acoustics, 37(4), 515-520.
- [16] Xiang, H. F., Wang, D., Liua, H. C. 2013. Investigation On Sound Absorption Properties of Kapok Fibers. Chinese Journal of Polymer Science, 31(3), 521-529.
- [17] Ganesan, P., Karthik, T. 2016. Development Of Acoustic Nonwoven Materials from Kapok and Milkweed Fibres. The Journal of The Textile Institute, 107(4), 477-482.
- [18] Thilagavathi, G., Neela Krishnan, S., Muthukumar, N., Krishnan, S. 2018. Investigations on Sound Absorption Properties of Luffa Fibrous Mats. Journal of Natural Fibers, 15(3), 445-451.
- [19] Taban, E., Tajpoor, A., Faridan, M. Samaei, S.E., Beheshti, M.H., 2019. Acoustic Absorption Characterization and Prediction of Natural Coir Fibers. Acoustics Australia, 47(1), 67-77.
- [20] Yuvaraj, L., Jeyanthi, S., Chinnapandi, M., Babu, L. 2019. Experimental and Finite Element Approach for Finding Sound Absorption Coefficient of Bio-Based Foam. Journal of Vibroengineering, 21(6), 1761-1771.
- [21] Mohammad, M., Syukri, N. N., Nuawi, M. Z. 2019. Sound Properties Investigation of Date Palm Fiber. In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 1150(1), 012003.
- [22] Koruk, H., Genç, G. 2019. Acoustic and Mechanical Properties of Luffa Fiber-Reinforced Biocomposites. In Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites, Woodhead Publishing, 325-341.
- [23] Taban, E., Khavanin, A., Ohadi, A., Putra, A., Jafari, A. J., Faridan, M., Soleimanian, A. 2019. Study on the Acoustic Characteristics of Natural Date Palm Fibres: Experimental and Theoretical Approaches. Building and Environment, 161, 106274.
- [24] Ghali, L., Msahli, S., Zidi, M., Sakli, F. 2009. Effect of Pre-Treatment of Luffa Fibres on The Structural Properties. Materials letters, 63(1), 61-63.
- [25] Contreras-Andrade, I., Rincón-Pardo, D., Guerrero-Fajardo, C. A., Parra-Santiago, J., Guerrero-Romero, E. 2014. Natural Composite Material from Steelwool or Luffa Cylindrica under Natural, Rigid and Flexible Resin. Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 8, 906-917.
- [26] Wang, R. M., Zheng, S. R., Zheng, Y. G. 2011. Polymer Matrix Composites and Technology. Elsevier-WP, Woodhead Publishing, Oxford 549s.
- [27] Vidinlimen, G. T. 2010. Otomotiv endüstrisinde kullanılan gözenekli malzemelerin akustik özellikleri ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, İstanbul