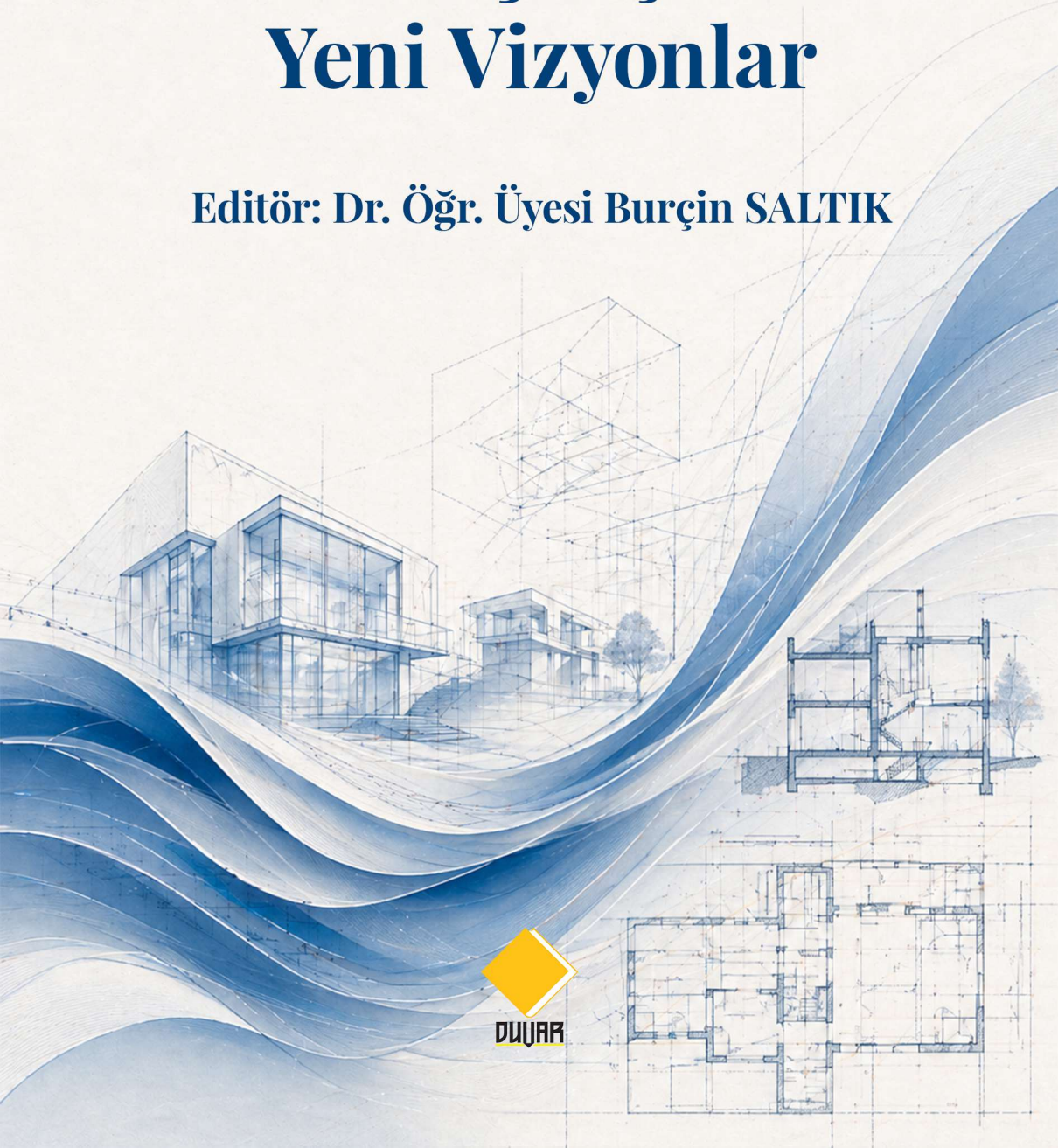


Mimarlık, Planlama ve Tasarımda Akademik Çalışmalar ve Yeni Vizyonlar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Burçin SALTİK



**MİMARLIK,
PLANLAMA VE TASARIMDA
AKADEMİK ÇALIŞMALAR VE
YENİ VİZYONLAR**

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Burçin SALTIK



Mimarlık, Planlama Ve Tasarımda Akademik Çalışmalar ve Yeni Vizyonlar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Burçin SALTIK

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak Tasarımı ve Sayfa Tasarımı: Duvar DESIGN

Basım Tarihi: Nisan 2026

Yayıncı Sertifika No: 49837

E-ISBN: 978-625-8756-18-0

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz."

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	1
Ses Emilimi ve İç Mekan Akustiğindeki Rolü <i>Zehra Rumeysa FAZLA</i>	
2. Bölüm	10
Konut İç Mekanlarda Gürültünün Etkileri ve Gürültü Kontrolüne Yönelik Kullanılan Malzemeler <i>Osman PERÇİN, Emir Çağrı AÇIKEL</i>	
3. Bölüm	59
Yarı Kurak İklimlerdeki Konutlarda İç Mekanda Isı Kazanımını Kontrol Etmek İçin Kullanıcı Odaklı Pasif Stratejilerin Rolü: Gölgeleme Tasarım Elemanı Olarak Kumaş Kullanımı <i>Salar Salah Muhy Al-DIN</i>	

1. Bölüm

Ses Emilimi ve İç Mekan Akustiğindeki Rolü

Zehra Rumeysa FAZLA¹

GİRİŞ

Mimaride mekanı algılama biçimi sadece görsel parametrelere dayanmamaktadır. Görme duyusuyla birlikte tüm duyular mekanı algılamada etkilidir. İşitsel deneyim de bu karmaşık sürecin bir parçasıdır. Kullanıcılar üzerinde fiziksel çevrenin psikolojik ve fizyolojik etkileri olduğu göz önünde bulundurulduğunda, işitsel konforun en az termal veya görsel konfor kadar önemli olduğu söylenebilir. İç mekan akustiğinin bir bileşeni olan oda akustiği, belirli bir mekanda ses üretimi, iletimi ve algılanmasıyla ilgili süreçleri kontrol etmeyi hedefler. Ses emilimi olayı ise bu kontrolü sağlamada en etkili yöntemlerden biridir. Modern mimaride cam, beton ve çelik gibi sert, yansıtıcı malzemelerin kullanımı, iç mekanlarda kontrolsüz ses yansımalarına yol açarak daha uzun yankılanma sürelerine neden olabilmektedir. Bu durum konuşma anlaşılabilirliğini azaltabilir ve artan gürültü seviyesi kullanıcılara psikolojik ve fizyolojik zararlar verebilir. Dolayısıyla, ses kontrolü sağlamanın mimaride bir mekanın işlevsel kalitesini artıran bir unsur olduğunu kabul etmek önemlidir.

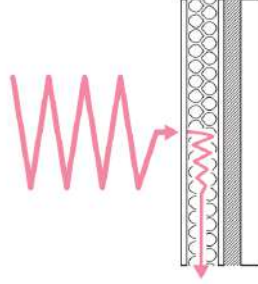
Ses emilimi, temel fiziksel anlamıyla, ses enerjisinin bir kısmının geri yansımadağı, malzeme içindeki sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüştürüldüğü ve bu nedenle dağıldığı varsayımına dayanır. Bu olgu, gözenekli yapı, yoğunluk, kalınlık ve ses emici malzemenin sabitleme yöntemi de dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olan ses emilim katsayısı (α) ile ölçülür. Ses emilim katsayısı 0 ile 1 arasında değişse de, frekansa bağlılığı, bir mekanın akustik kalitesini belirlemede en önemli faktördür. Bu bölümün amacı, ses emiliminin fiziksel temelini, bir mekanın akustik kalitesindeki düzenleyici rolünü ve bir mekanın mimari tasarımıyla bütünleşmesini incelemektir. Ayrıca, ses emilimi ve ses yalıtımı arasındaki temel kavramsal fark ve ses emici malzemelerin seçiminin bir mekanın akustik kalitesini belirlemedeki rolü de ele alınmıştır.

¹ Arş. Gör., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü

ORCID: 0000-0002-5151-1631

1. Ses Emilimi Nedir?

Ses emilimi, bir ortamda yayılan ses enerjisinin bir engelle veya yüzeye çarptığında ısı enerjisine dönüşmesi olayıdır (Amares vd. 2017) (Şekil 1). Ses emilimi sesin çarptığı yüzeyin malzemesine bağlı olarak değişse de temel prensip ses enerjisinin çarptığı malzemenin içindeki hava moleküllerini titreştirmesiyle oluşan sürtünme ile ses enerjisinin bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesidir.



Şekil 1: Ses enerjisinin emilimi (Gomez ve Agustina, 2020).

Malzemeye çarpan ses dalgalarının bir kısmı yansırken bir kısmı emilir. Emilen sesin yansıyan sese oranı emilme katsayısı olarak tanımlanır (Barta vd. 2024). Ses yutma katsayısı “ α ” ile simgelenir ve oran 0 ile 1 arasındadır. Emilim katsayısı 1’e ne kadar yakınsa ses emilimi de o kadar iyidir.

Akustik malzemelerin temel çalışma prensibi ses enerjisinin yani kinetik enerjinin gözenekli yüzeylere çarparak termal enerjiye dönüşmesidir. Bu sayede çarpıp yansıyan ses dalgaları zayıflamış olur ve ses bulanıklığı azalarak konuşma anlaşılabilirliği artar.

2. Ses Emilimini Etkileyen Faktörler

İç mekanlarda akustik konforun sağlanabilmesi için en çok başvurulan yöntem ses emici malzemelerin kullanılmasıdır. Ses emici malzemeler çoğunlukla lifli ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Ses emilimini etkileyen faktörler şu fiziksel özelliklere bağlıdır: lif boyutu, gözeneklilik, malzeme kalınlığı ve malzeme yoğunluğu. Malzemelerin fiziksel özellikleri malzemeye çarpan sesin hareketlerini ve sesin emilimini doğrudan etkilemektedir (Tiuc vd. 2014).

2.1 Lif Boyutu

Ses emici malzemede kullanılan lif çapı, ses dalgaları malzeme içinden geçerken liflerin hareketini etkilediği için ses emilimini de etkilemektedir. Lifler sürtünerek hareket ettikçe ses enerjisini ısıya dönüştürmektedirler. İnce lifler kalın liflere göre daha yüksek ses emilim katsayısına sahiptirler. Çünkü, ince

lifler kalın liflere göre daha kolay hareket ederler. Diğer bir neden ise, aynı hacim yoğunluğuna sahip olmak için daha fazla lif kullanılmasıdır, bu sayede ses dalgaları için daha karmaşık yollar oluşur ve hava akış direnci artar (Lee ve Joo, 2003). Kısaca, bir malzemede daha fazla ince lifin olması birkaç kalın lifin kullanılmasına göre daha fazla sürtünme direnci oluşturmaktadır. İnce lifler kalın liflere göre daha karmaşık kanallar oluşturmakta ve hava akış direncini artırmaktadır (Jafari vd. 2018). Bu sayede ses enerjisi daha verimli dağılır. Hava akış direncinin artmasıyla ses enerjisi daha karmaşık yollardan geçeceği için sürtünme artar ve ses emilimi daha kolay olur (Prahsarn vd, 2020; Tiuc vd. 2014).

2.2 Gözeneklilik

Ses dalgalarının geçtiği ve emildiği bir malzemede bulunan boşlukların/gözeneklerin sayısı, boyutu ve türü ses emilimini etkilemektedir. Ses dalgaları gözeneklere girdiğinde kanallardaki hava molekülleri titreşmektedir ve ses enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir (Arenas ve Crocker, 2010). Sürekli kanallar, kısa ve kapalı gözeneklere göre sesi daha iyi bir şekilde sönmölemektedir (Walter ve Gürsoy, 2022).

Gözenekli ses emici malzemeler mikroskobik yapılarına göre üç sınıfa ayrılmaktadırlar: hücreli, lifli veya granüler (Arenas ve Crocker, 2010). Malzeme yüzeyindeki birçok küçük delik veya açıklıklardan ses dalgaları malzemenin içine girmektedir, dolayısıyla gözenek yapısı da ses emilimini etkilemektedir. Malzeme içindeki gözeneklerden dolayı kıvrımların artması hava akış direncini artırarak ses emilimini artırır (Gezer ve Kuştaş, 2024; Prahsarn vd. 2020).

2.3 Malzemenin Kalınlığı

Düşük frekanslı seslerle ses emici malzemelerin kalınlığı doğrudan ilişkilidir. Malzeme kalınlaştıkça ses emilimi artmaktadır (Doğru ve Pulat, 2020). Malzeme kalınlığının artması ses enerjisinin sürtünme için gideceği yolu artıracığı için ses emilimi de daha etkili olur (Ewe vd. 2023).

2.4 Malzemenin Yoğunluğu

Orta ve yüksek frekanslı sesler için malzemenin yoğunluğu arttıkça ses emilim katsayısı da artmaktadır. Yoğunluğu az olan malzemeler düşük frekansları (500Hz) emerken, yoğunluğu fazla olan malzemeler yüksek frekansları (2000 Hz) emebilmektedirler (Seddeq, 2009). Fakat çok yüksek yoğunlukta olan malzemeler de yansıtıcı olabilir. Bu sebeple ihtiyaca göre optimum yoğunluk seviyesini yakalamak önemlidir.

Ses emici malzemelerin fiziksel özelliklerinin yanında iç mekanlarda ses emilimini etkileyen diğer unsurlardan biri frekanstır. İnce veya kalın frekansların varlığına göre iç mekanda kullanılacak ses emici malzemelerin özellikleri değişebilir. Bunun dışında mobilyalar, perdeler hatta insanlar ses emilimine katkı sunarlar.

3. İç Mekanda Ses Emiliminin Önemi

İç mekanlarda ses enerjisini kontrol ederek mekanın işlevine uygun akustik ortamı oluşturmak mekan tasarımı açısından oldukça önemlidir. İç mekanlarda akustik kontrol için ses emilimini kullanmak en çok başvurulan yöntemlerden biridir. Ses emiliminin iç mekan akustiğindeki kritik rollerinden ilki **çınlama süresini** kontrol etmektir. Çınlama süresi (reverberation time), bir mekandaki sesin sönümlenmesi için geçen süredir (Qiu, 2016). Daha teknik olarak tanımlamak gerekirse, ses kaynağı durduktan sonra ses basıncının 60 desibel düşmesi için gerekli olan süre olarak açılabilir (Qiu, 2016; Gomez Agustina, 2020; Jacobsen vd. 2011). Mekana uygulanan ses emici malzemeler yansımaların azalmasına yardımcı olarak mekan işlevine göre çınlama süresini optimum seviyeye çekebilir. Uzun çınlama süreleri mekanın yankılı ve canlı duyulmasını sağlayabilir. Bu durum müzikle ilişkili fonksiyonlarda dolgunluk hissi oluşturmak için gerekebilir, ancak konuşma anlaşılabilirliğini zorlaştırır. Kısa çınlama süreleri ise konuşmaların net duyulabilmesi için gereklidir. Dolayısıyla, mekan işlevinin ne olduğu bilmek akustik tasarımda birinci basamaktır.

Konuşma anlaşılabilirliği, konuşma iletiminin ne kadar iyi olduğunu gösteren bir ölçüttür (Gomez Agustina, 2020). Ses emiliminin az olduğu mekanlarda ses daha fazla yansır ve bu durum konuşmanın anlaşılabilirliğini zorlaştırır. Uzun çınlama süreleri hecelerin ve kelimelerin birbirine karışmasına neden olur ve bu da anlaşılabilirliği azaltır. Özellikle eğitim mekanlarında ve ofislerde ses emilimi ile arka plan gürültüsünü ve geç gelen yansımaları azaltmak oldukça önemlidir.

İç mekanlarda akustik kontrolü sağlamak sadece teknik bir detaydan çok daha fazlasıdır. Mekan kullanıcılarının sağlığı, verimliliği ve psikolojisi için dikkate alınması gereken bir unsurdur. Restoranlar ve açık ofisler gibi kalabalık ve sesli mekanlarda ses emilimi yeterli seviyede sağlanamazsa yansıyan sesler mevcut seslere eklenerek gürültü seviyesini yükseltir. Ses emici yüzeyler yansıyan sesleri sönümleyerek mekandaki gürültüyü azaltmaya yardımcı olur. Bu sayede akustik konfor sağlanarak mekan işlevini daha iyi şekilde yerine getirebilir.

4. Farklı İşlevdeki Mekanlarda Emilim Stratejileri

Bu başlık altında farklı işlevlere sahip mekanlardaki emilim stratejileri açıklanarak teorik bilgilerin pratik mimari tasarımla birleştirilmesi

amaçlanmıştır. İç mekan akustiğinde ses kontrolü mekanın işlevine bağlı değişir. Akustik tasarım mekanda gerçekleşecek işlevlerin gerekliliklerine hizmet edecek şekilde kurgulanır. Bu kapsamda, mekanın işlevine göre ses emilim stratejileri üç alt başlıkla sınıflandırılabilir.

4.1 Konuşma Odaklı Mekanlar

Konuşma odaklı mekanlar için derslikler ve konferans salonları örnek olarak verilebilir. Bu tür işleve sahip mekanlarda temel amaç konuşma anlaşılabilirliğini en üst seviyeye çıkarmaktır. Çınlama sürelerinin uzaması bu mekanlarda ses hecelerinin üst üste binerek sesin bulanıklaşmasına neden olur. Konuşma odaklı mekanlarda uygulanabilecek en iyi strateji, orta ve yüksek frekanslarda yüksek emilime sahip malzemelerin kullanılmasıdır. İç mekanda çınlama süresini kontrol etmek için yan yüzeylerde gözenekli emicilerin kullanılması mekan tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir stratejidir.

4.2 Müzik Odaklı Mekanlar

Konser salonları ve orkestralar için tasarlanmış müzik odaklı mekanlar için akustik tasarım konuşma odaklı mekanların tamamen zıttı olacak şekilde yapılır. Müziğin mekanda sarmalanma hissi oluşturması istenir. Bu mekanlarda ses emici malzemelerden ziyade sesi yansıtan ve dağıtan yüzeyler tercih edilir. Ses emilimi ise dinleyicilerin bulunduğu kısımlarda sağlanır. Döşemeli koltuklar ve insanlar ses emilimini en çok destekleyen unsurlardır. Müzik odaklı mekanlarda yan yüzeylerde emici paneller yerine sesi homojen dağıtan difüzörler kullanılmalıdır. Fakat, düşük frekanslarda istenmeyen sesler için sahne arkasında ve tavan boşluklarında emiciler kullanılabilir.

4.3 Açık Ofisler ve Çok Amaçlı Hacimler

Açık planlı ofisler, restoranlar, fuaye alanları gibi büyük hacimli mekanlarda akustik açıdan mahremiyet ve gürültünün minimize edilmesi önceliklidir. Bu mekanlarda akustik tasarımın amacı ses kaynağından üretilen sesin etrafa yayılmasını engellemektir. Bunun için en etkili yöntem tavan yüzeyinde performansı yüksek gözenekli emiciler kullanmaktır. Sadece tavanda değil açık planlı mekanlarda akustik performansı yüksek bölücü elemanlar kullanmak da ses emilimine katkı sağlar. Zeminde ise halı kullanımı emilimi desteklese de tavanda ve dikeyde ses emici malzemeler kullanmak elzemdir.

5. Ses Emilimi ve Yalıtımı Arasındaki Temel Fark

Ses emilimi ile ses yalıtımı farklı fiziksel mekanizmalara dayanmaktadır (Long, 2005). Ses yalıtımı, sesin bir mekandan başka bir mekana geçişini

engellemeyi amaçlar. Ses emilimi ise mekan içindeki sesin yansımalarını azaltarak sönümlenmesini amaçlar.

Ses yalıtımının işleyiş prensibi kütle kanununa göre dayanır. Tuğla, beton veya çok katmanlı cam gibi ağır ve yoğun malzemelerin ses yalıtım değerleri yüksekken ses emilim değerleri düşüktür (Vigran, 2008). Ses emiliminde ise gözenekli, lifli veya hücreli yapıdaki malzemeler yüksek emilim değerine sahiptir (Arenas ve Crocker, 2010). Malzeme Bu yapıdaki malzemeler ses enerjisini sönümlerken düşük kütleyle sahip oldukları için sesin diğer tarafa geçişini engelleyemezler, yani ses yalıtım değerleri düşüktür. Kısacası ses yalıtımında sesin bir mekandan içeriye girişini önlemek hedeflenirken, ses emiliminde iç mekanda ses kalitesinin artırılması hedeflenir.

6. Malzeme Seçiminin Akustik Kaliteyi Belirlemedi Rolü

Bir mekannın akustik tasarımında mekan işlevine uygun olacak şekilde akustik çözümler geliştirilmelidir. Önceki başlıklarda bahsedildiği gibi mekan işlevinin ne olduğu bu süreçte kritik bir önem taşır. Doğru malzeme seçimi en kolay ve en hızlı çözümler sunar. Farklı frekanslarda farklı etkileşimlere giren malzemeler her frekansta sesi aynı oranda sönümlenmez. Hem ince hem kalın gözenekli emicilerin kullanılması farklı frekanslarda sönümlenme sağlayarak iç mekanda akustik kaliteyi dengeler.

Ahşap, alçı gibi sert ve pürüzsüz malzemeler mekanda ses yansımalarını artırarak canlılık katarken (müzik odaklı mekanlar için uygundur) gözenekli ve yumuşak malzemeler ses emilimini artırarak netlik sağlar (konuşma odaklı mekanlar için uygundur). Mimari tasarımda malzeme seçimi bu yüzden oldukça önemlidir.

Malzeme seçimi kadar bu malzemelerin iç mekanda yerleşimi de önem arz etmektedir. Paralel yerleştirilen sert malzemeler mekanda yankıya sebep olur. Paralel yüzeylerden birinin emici malzeme ile kaplanması veya açılı bir şekilde yerleştirilmesi işitsel konforu artırır.

SONUÇ

Mimari pratikte görsel konfor ve estetiğin kullanıcı deneyimindeki yerinin önemi kabul edilirken işitsel konforun da kullanıcılar üzerindeki etkisi yadsınamaz. Bu bölümde, ses emilimi kavramı, fiziksel prensipleri, malzeme parametreleri ve iç mekan tasarımında uygulama stratejileri ele alınmıştır. Akustik tasarım, sadece gürültü kontrol etmek için değil aynı zamanda mekannın işlevsel sürdürülebilirliğini sağlamak için de kullanılan bir tasarım olgusudur. Mekan işlevine göre ideal akustik kavramı farklılık göstermektedir. Bu nedenle her mekan kendine has bir akustik tasarım süreci gerektirmektedir. Ses emici

malzemelerin seçiminden iç mekanda konumlandırılmasına kadar her detay tasarım sürecinin başından itibaren ele alınmalıdır. İç mekanda sağlanan akustik konfor kullanıcıların fiziksel ve psikolojik sağlıklarını desteklemek açısından büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T. W., Durairaj, R., & Hamid, H. S. H. B. (2017). A review: Characteristics of noise absorption material. *Journal of Physics: Conference Series*, 908(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/908/1/012005>
- Arenas, J. P., & Crocker, M. J. (2010). Recent trends in porous sound-absorbing materials. *Sound & Vibration*, 44(7), 12–18.
- Barta, D. G., Simion, I., Tiuc, A. E., & Vasile, O. (2024). Mycelium-based composites as a sustainable solution for waste management and circular economy. *Materials*, 17(2), 404. <https://doi.org/10.3390/ma17020404>
- Doğru, T., & Pulat, E. (2020). Otomotivde kullanılan elyaflı malzemelerin akustik özelliklerinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 889–902. <https://doi.org/10.17482/uumfd.735073>
- Ewe, L. S., Yew, W. K., Woon, H. S., & Ibrahim, Z. (2023). Sound-absorbing material based on oil palm frond natural fibres. *Sains Malaysiana*, 52(7), 2103–2114.
- Gezer, E. D., & Kuştaş, S. (2024). Acoustic and thermal properties of mycelium-based insulation materials produced from desilicated wheat straw–Part B. *BioResources*, 19(1), 1348–1365.
- Gomez-Agustina, L., Bosnyak, D., Carballeira, A., Wagenmann, T., & Mahmood, N. S. A. A. (2020). *The little book of acoustics*. WeK.
- Jacobsen, F., Poulsen, T., Rindel, J. H., Gade, A. C., & Ohlrich, M. (2011). *Fundamentals of acoustics and noise control*. Technical University of Denmark.
- Jafari, M. J., Monazam, M. R., & Kazempour, M. (2018). Providing an optimal porous absorbent pattern to reduce mid- to low-frequency sounds. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16(2), 289–297. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0317-6>
- Lee, Y., & Joo, C. (2003). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *AUTEX Research Journal*, 3(2), 78–84.
- Long, M. (2005). *Architectural acoustics*. Elsevier Academic Press.
- Prahsarn, C., Klinsukhon, W., Suwannamek, N., Wannid, P., & Padee, S. (2020). Sound absorption performance of needle-punched nonwovens and their composites with perforated rubber. *SN Applied Sciences*, 2(4), 559. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2358-4>
- Qiu, X. (2016). Principles of sound absorbers. In S. Chen (Ed.), *Acoustic textiles* (pp. 43–72). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0234-2_3

- Seddeq, H. S. (2009). Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 4610–4617.
- Tiuc, A. E., Vasile, O., Usca, A. D., Gabor, T., & Vermesan, H. (2014). The analysis of factors that influence the sound absorption coefficient of porous materials. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 11(2), 105–110.
- Vigran, T. E. (2008). Room acoustics. In *Building acoustics* (pp. 103–151). Taylor & Francis.
- Walter, N., & Gürsoy, B. (2022). A study on the sound absorption properties of mycelium-based composites cultivated on waste paper-based substrates. *Biomimetics*, 7(3), 100. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030100>

2. Bölüm

Konut İç Mekanlarda Gürültünün Etkileri ve Gürültü Kontrolüne Yönelik Kullanılan Malzemeler

Osman PERÇİN¹
Emir Çağrı AÇIKEL²

1. Giriş

İnsanoğlu, çok eşli dönemlerden günümüze, kendisinin daha konforlu ve sağlıklı yaşayabileceği mekanlar oluşturmak için çaba göstermektedir. Günümüzde yaşam alanlarının genel konforu değerlendirilirken insan sağlığı ve yaşam kalitesi en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Bir birey günlük yaşamının çoğunu, konut, ofis, eğitim yapısı, konferans ve tiyatro salonu, restoran vb. gibi iç mekanlarda geçirmektedir. Dolayısıyla kullanıcılar rahat ve konforlu mekan arama ve oluşturma çabalarını eski çağlardan beri sürdürmektedirler. Yaşam ortamlarında akustik konfor, kullanıcıların performansını doğrudan etkileyen kritik bir faktör olarak rol oynamaktadır. İşitsel konfor gereksiniminin kritik olduğu yaşam alanlarında akustik özellikler ve parametreler gibi tasarım girdilerinin belirlenmesi, buna uygun tasarımların yapılması kullanıcıların günlük yaşam kalitesinin artırılmasında önemli unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kullanıcıların çalışma ve yaşama ortamlarının, akustik konfor açısından optimum konforu sağlayacak biçimde düzenlenmesi ve tasarlanması oldukça önemlidir. Sonuç olarak bu durum iç mekan kalitesini gündeme getirmektedir. İç mekan kalitesinin kullanıcılarda sağlık, memnuniyet ve verimlilik üzerine önemli etkilere neden olabilmektedir.

Ses, bir cismin titreşmesi ve bir ortamda (yani katı, sıvı veya gazda) hareket eden bir ses basınç dalgası oluşturması sonucu üretilen bir enerji biçimidir ve ortamın elastik özelliği, sesin kaynaktan dalgalar halinde yayılmasına katkı sağlar (Perr, 2005). Ses kavramının tanımlanmasında birbirinden bağımsız 3 temel özelliğin bir arada bulunması gerekmektedir. Bunlar; kaynak, iletici ortam ve kulaktır. Bir kaynak aracılığıyla, iletici ortamda gelen mekanik titreşimlerin dalgalar halinde gelerek, işitme duyusu olan kulak tarafından duyulmasına ses denir (Uğur, 2024). Gürültü ise herhangi bir anlam ifade etmeyen, istenmeyen ve rahatsızlık oluşturan ses olarak nitelendirilmektedir. Sesin insan kulağına daha

¹ Doç. Dr., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, ORCID: 0000-0003-0033-0918

² Arş. Gör., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, ORCID: 0009-0008-7601-7892

iyi gelebilmesi için ihtiyaç duyulan metotları geliştirme işlemleri ise akustik biliminin konusudur. Akustik bilimi, sesin oluşumu, yalıtımı ve duyulanı özellikleri ile uğraşan bilim dalıdır. Akustik, mimari tasarım parametrelerinin en önemli değişkenlerinden birisidir. Bir mekanın mimari planlaması sürecinde, gürültü sorununun ele alınması, tasarımla beraber çözülmesi gereken bir durumdur. İstenmeyen ses olarak ifade edilen gürültünün, mekandan uzaklaştırılması bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. İnsanoğlunun daha sağlıklı, konforlu bir çalışma ve yaşam sürdürebilmesi için en uygun yapı ve mekan oluşumu, insanların sağlığını ve rahatını olumlu yönde etkileyecek akustik çözümlerin bulunmasıyla ilişkilendirilebilir (Demirkale, 2007). Günümüzde, toplumların yaşam tarzı ve özellikle teknolojik gelişmelere bağlı olarak ses ve sesin bir boyutu olan gürültünün önemi, her geçen gün biraz daha ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda, yaşam alanlarında gürültü kontrolü, önemli bir konu olarak ortaya çıkmakta ve önem kazanmaktadır (Muslu ve Sönmez, 2017).

Önemli bir parametre olarak kabul edilmesine rağmen, akustik konforun bina tasarımında öncelikli olarak ele alınmadığı ve bunun da kullanım esnasında ve sonrasında verimlilikle ilgili çeşitli sorunlara yol açtığını bilinmektedir. Akustik sorunlar, havadan yayılan seslerden, dış gürültüden, bitişik alanlardan gelen gürültülerden, ofis ekipmanlarından gelen gürültülerden ve yakındaki tesislerin sesinden kaynaklanabilirken, başkalarının konuşmasından, telefonların çalmasından ve diğer düzensiz seslerden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle, akustik sorunların binanın tasarım aşamalarında ele alınması gerekir. Binaların akustik konforu, bina sakinlerini gürültüden koruma ve binanın tasarlandığı amaca uygun bir şekilde hizmet etmesine yönelik akustik ortam sunma kapasitesi olarak değerlendirilmektedir. Ticari binalarda akustik konfor ile çalışan kişilerin verimliliği arasında doğrudan bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte açık plan ofislerin artmasıyla birlikte, akustik konfor ve gizlilik sorunları, çalışan verimliliğini etkileyen önemli konular olarak belirlenmiştir (Al Horr vd., 2016).

Günümüzde ulaşım ve sanayi faaliyetlerindeki hızlı artışla birlikte gürültü kirliliği, insanoğlunun karşı karşıya kaldığı en önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Aşırı gürültüye maruz kalma, insanların yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, vahşi yaşamı rahatsız etmekte ve onların refahına derinden zarar vermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 65 dB'nin üzerindeki gürültüyü gürültü kirliliği olarak nitelendirmektedir. DSÖ'ye göre, uzun süreli veya aşırı gürültüye maruz kalmanın işitme kaybı, stres, konsantrasyon bozukluğu, iletişim ve verimlilik sorunlarından uyku bozukluğu ve kardiyovasküler hastalıklara kadar çeşitli sağlık sorunlarına neden olduğu bildirilmektedir (Tao vd., 2021). Gürültü, kentleşmenin yanında çeşitli

faktörlerin neden olduğu bir çevre sorunudur ve yaşam kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Gürültü, ruh sağlığını ve iş performansını olumsuz etkileyebilmekte ve zamanla yüksek tansiyona ve hafıza kaybına yol açabilmektedir. Ayrıca, rahatsızlık, uyku bozukluğu, kardiyovasküler ve bilişsel bozukluklar, baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, işitme kaybı, öfke, mutsuzluk, kaygı ve depresyon gibi çeşitli olumsuz duygusal ve fizyolojik etkilerle de ilişkilidir (Onay vd., 2025)

Gürültü kirliliği dünyada giderek artan bir çevre sorunu olduğundan, gürültünün olumsuz etkileri dikkate alındığında yaşam kalitesinin artırılmasında öncelikle gürültü kontrolünün oluşturulduğu yaşanabilir bir ortam sağlanmalıdır. Bu bakımdan akustik konforun sağlanması ve akustik kalitenin artırılması kaliteli ve sürdürülebilir çevrenin ve yaşam alanının oluşturulmasında önemli bir konu olarak gündemde yerini korumaktadır. Özellikle günümüzde, mimari yapıda hızla artan yüksek katlı binaların sayısındaki artışlar ve hafif yapı elemanlarının sayısındaki artışlar, çözülmesi zor akustik sorunları da beraberinde getirebilmektedir (Bayazıt ve Aşçıgil, 2007).

İç mekan çevre kalitesini sağlamanın gerekli koşullarından biri de akustik konfor gerekliliğidir. Yapıların daha nitelikli, sağlıklı ve üretken bir şekilde yaşam alanlarına dönüştürülebilmesinin temelinde, tasarım aşamasında akustik problemlerinin göz önüne alınması, tasarım aşamasından işletilmesine kadarki tüm süreçlerde akustik konforun göz önünde bulundurulmasına yönelik gerekli önlemlerin alınması ile mümkün olabilmektedir. Ancak bu şekilde bir yapı veya yaşam alanı daha sağlıklı ve daha verimli bir duruma getirilebilir (Özçetin vd., 2018).

Mekanların hacmi ve boyutları gibi fiziksel değişkenlerin ötesinde, gürültü seviyeleri de işitsel konforu etkilemektedir. Tipik koşullar altında, kabul edilebilir gürültü seviyesi 40 ile 60 desibel arasında değişmektedir (Gümüş Battal, ve Parlakyıldız Köse, 2025). Tablo 1'de bazı iç mekanlara ait gürültü düzeyi sınır değerleri verilmiştir.

Çeşitli alanlar için gürültü seviyeleri, alanın kullanımına göre belirlenmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, konutlardaki iç mekan gürültü kılavuz değerleri 30 dBA (LAeq,gece,içmekan)'dır. Bununla birlikte yapıların özellikle de dış gürültülere karşı yalıtılması ve bir konut içindeki gürültü seviyesinin azaltılmasının ölçülmesi karmaşık bir süreçtir. Ölçüm sonuçları, cihaz hataları, ses kaynağının ve mikrofonun konumu, ortam gürültüsü ve meteorolojik koşullar gibi birçok faktörden etkilenebilir. Ölçüm yöntemlerindeki farklılıklara yol açan faktörleri ve iç mekan gürültü seviyelerinin tahmininde yanlışlıkları en aza indirmenin yollarını anlamaya çalışan araştırmaların sayısı giderek artmaktadır. Çevresel gürültünün topluluklar ve belirli konutlar

üzerindeki etkisini azaltma sürecini tanımlamak için gürültü yalıtımı, gürültü azaltma, ses geçirmezlik, akustik işlem, ses azaltma ve gürültü azaltma gibi birçok terim kullanılmaktadır. Sonuç olarak Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği ilkelerine göre, özellikle gece saatleri için iç mekan gürültüsü sınır değerinin 30 dBA ve altında olması tavsiye edilmektedir (Zaporozhets vd., 2022).

Tablo 1. Bazı İç Mekanlarda Gürültü Düzeyi Sınır Değerleri (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 2010)

Kullanım Alanları		Kapalı Pencere L _{eq} (dBA)	Açık Pencere L _{eq} (dBA)
		Kullanım alanlarında herhangi bir faaliyet olmadığı durumlardaki değerler:	
Kültürel Tesis Alanları	Tiyatro salonları	30	40
	Sinema salonları	30	40
	Konser salonları	25	35
	Konferans salonları	30	40
Sağlık Tesis Alanları	Yataklı tedavi kurum ve kuruluşları, dispanser, poliklinik, bakım ve huzur evleri ve benzeri.	35	45
	Dinlenme ve tedavi odaları	25	35
Eğitim Tesisleri Alanları	Okullardaki derslikler, özel eğitim tesisleri, kreşler, laboratuvarlar ve benzeri.	35	45
	Spor salonu,	55	65
	Yemekhane	45	55
	Kreşlerdeki yatak odaları	30	40
Turizm Yerleşme Alanları	Otel, motel, tatil köyü, pansiyon ve benzeri yatak odası	35	45
	Konaklama tesislerindeki restoran	35	45
Sit Alanları	Arkeolojik, doğal, kentsel, tarihi ve benzeri.	55	65
Ticari Yapılar	Büyük ofis	45	55
	Toplantı salonları	35	45
	Büyük daktilo veya bilgisayar odaları	50	60
	Oyun odaları	60	70
	Özel büro (uygulamalı)	45	55
	Genel büro (hesap, yazı bölmeleri)	50	60
	İş merkezleri, dükkanlar ve benzeri.	60	70
	Ticari depolama	60	70

	Lokantalar	45	55
Kamu Kurum Kuruluşları	Ofisler	45	55
	Laboratuvarlar	45	55
	Toplantı salonları	35	45
	Bilgisayar odaları	50	60
Spor Alanları	Spor salonları ve yüzme havuzları	55	65
Konut Alanları	Yatak odaları	35	45
	Oturma odaları	45	55

2. Mimari Akustik ve Gürültü Kontrolü

İşitsel algı, günlük yaşamımızdaki mekanların genel deneyiminin vazgeçilmez bir parçasıdır. Günümüzde insanlar zamanının büyük çoğunluğunu iç mekanlarda geçirmektedir. Bu nedenle akustik olaylar, yaşadığımız, çalıştığımız, okuduğumuz, iyileştığımız vb. ortamlardaki mekansal algımızı, iletişimimizi ve eylemlerimizi büyük ölçüde etkilemektedir. Mimari Akustik genellikle hem bina hem de oda akustiği ile ilgili olsa da, bağlamın araştırma mı yoksa uygulama ile ilgili mi olduğuna bağlı olarak tanımları belirli ölçüde örtüşmektedir. Oda akustiği alanında, özellikle müzik veya konuşmaya odaklanıldığında, ses geleneksel olarak bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, gürültü (istenmeyen ses) kontrolü, oda akustiği tasarımında giderek daha ön planda olmaya başlamıştır. Dışarıdan veya aynı binadaki diğer iç mekanlardan gelen gürültü veya bina ekipmanlarından gelen gürültü ise daha çok bina akustiğinin ilgi alanına girmektedir (Shtrepi vd., 2024).

Mimari akustik, konutlarda ve diğer binalarda sesin incelenmesi ve bu yapıların optimum akustik performans için tasarlanmasıdır. Genel olarak bina genelinde ses iletiminin kontrolü, ses davranışının kontrol edilmesi, konuşmanın iyi anlaşılabilirliği için koşulların korunması, ses yalıtımının sağlanması, sesin yayılması, yansması, emilimi, farklı yüzeyler ve malzemelerle etkileşimlerinin de içinde olduğu bir durumdur. Bu noktada mimari akustik, sanat, bilim ve mühendislikteki mevcut bilgileri bir araya getirerek, gürültüyü rahatsızlık kaynağı olmaktan çıkarırken, işitsel estetiği veya işlevselliği sağlamaktan sorumludur (Sü Gül ve Çalışkan, 2022). Mimari akustik veya yapı akustiği, akustiğin mimarlık ile ilgili olan bölümlerini içine alan bir unsurdur. Genel olarak bakıldığında gürültü denetimi ve hacim akustiği konuları yapı akustiğinin veya mimari akustiğin alt başlıkları olarak değerlendirilmektedir. Gürültü kontrolü hacim içindeki istenmeyen seslerin engellenmesi üzerine yapılan çalışmaları içine alan bir disiplindir. Bunun yanında, hacim akustiği, hacim içindeki ses olaylarının hacmin işlevine göre en uygun biçimde oluşması için gereken tüm konuları içine almaktadır. İç mekânda mimari akustik tasarım, hacmin kullanım amacına uygun biçimlendirilmesiyle başlar ve akustik konforu sağlamak için

yüzey özellikleri, kullanılan malzemeler ve bunların alanları dikkate alınarak geliştirilir. Optimum akustik konfor şartlarının sağlanabilmesi için, hacim büyüklüğü, kişi sayısı, hacmin işlevi ve diğer akustik parametrelerde dikkate alınarak tasarım nihai şekline ulaşmaktadır (Özbek, 2022).

Gürültü kontrolü, istenmeyen sesleri, gürültü kirliliğini ve bunların insan sağlığı üzerindeki etkilerini azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yönelik stratejileri içermektedir. Gürültü kaynağı yeterince belirlendikten ve gözlem noktalarındaki izin verilen maksimum gürültü seviyelerine karar verildikten sonra, en ekonomik gürültü kontrol sistemi için öneriler ve tasarım özellikleri oluşturur. En etkili yaklaşım, gürültünün kaynağına doğrudan müdahale etmektir ve gürültüyü kaynağında yok etmektir. Kaynak kontrolü, sorunu kaynağında ele aldığı, gürültünün oluşmasının engellendiği veya yoğunluğunu önemli ölçüde azalttığı için en etkili yöntemdir. Kaynak kontrolleri, gürültüyü oluşturan her neyse ona müdahale etmeyi içerir; bu da ortama daha az ses enerjisinin girmesi anlamına gelmektedir. Kaynakta denetimin yapılamadığı ya da yapılsa da yeterli olmadığı durumlarda gürültünün kaynak ve alıcı arasında denetimi söz konusu olmaktadır. Kaynakta denetimin yeterli olmadığı durumlarda gürültünün ortamda denetiminden söz edilmektedir. Bu denetimler kaynakla alıcı arasındaki yolda sesin azaltılmasına yönelik önlemleri içermektedir. Bariyerler, muhafazalar ve emici paneller gibi yol kontrolleri, sesin alıcıya doğru ilerlerken kesintiye uğratılmasını sağlar. Gürültünün niteliği kaynak ile alıcı arasındaki uzaklığa ve bu bölgede yer alan sesin yutulmasına ya da yansımaya neden olan elemanlara bağlı olarak değişmektedir. Gürültü kaynakta ya da kaynak ile alıcı arasındaki bir alanda denetlenemediğinde veya kontrol altına alınamadığında yapılara ulaşmaktadır. Bu durumlarda gürültünün alıcıda denetlenmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Gürültünün kaynakta kontrol edilmesi ve denetlenmesi, sorunun asıl nedenini ele aldığı için, yol boyunca veya alıcıda yapılan kontrollere göre her zaman daha tercih edilebilir (Bolt vd., 1952; Tümer Argüden, 2023).

İç mekanda ise gürültüye karşı hassas hacimlerin konumları, avlu, balkon, çıkmalar gibi cephe elemanları, pencere ve kapı gibi gürültü açısından zayıf elemanların yerleşimi de gürültü denetimini etkileyen faktörler arasındadır. Buna ek olarak iç mekân tasarımını oluşturan yüzeyler, kaplamalar ve malzemelerde sesin yayılmasını kontrol etmede kullanılabilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. İç mekanlarda gürültü kaynaklarının yansıtıcı yüzeylerle çevrelenmemesine dikkat edilmelidir (Tümer Argüden, 2023).

3. Konut Sakinlerini Etkileyen Gürültüler

Konut binalarındaki gürültü, kullanıcılar için bir sorun oluşturmaktadır. Yapılarda akustik konfor koşullarını sağlamak için, gürültü kontrolü ülke

yönetmeliklerine dahil edilmiştir. Gürültü kirliliği küresel olarak giderek artan bir çevre sorunu olduğundan, gürültü kontrolü öncelikle yaşam alanlarında öncelikli konulardan birisi olmalıdır. Özellikle kentsel alanlarda nüfus artışı, yoğun yapılaşma, trafik ve değişen gürültü kaynakları gibi faktörlerin yanı sıra mimari yapılaşma nedeniyle önemli bir sorun haline gelen ve insanlar üzerinde önemli etkileri olan gürültü son yıllarda dikkatleri üzerine çekmiş ve birçok araştırmanın konusu haline gelmiştir (İnce ve Demirel, 2023).

Konutlar, insanların barınma gereksinimlerini karşılayan ve sosyal yaşamın temelini oluşturan mekânlardır. Tarih boyunca konutlar, fiziksel ve toplumsal değişimlerin bir göstergesi olmuştur. Konut; bireyin fiziksel, ruhsal ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılayan, işlevsel mekânlardan oluşan ve uzun vadeli kullanıma uygun bir fiziksel üretdir. Bu nedenle konutların, kullanıcıların uzun vadeli ihtiyaçlarını karşılayabilecek uygun fiziksel koşullara sahip olması gerektiği ön planda olmuştur. Gürültü, insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerinde farklı olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle, insanların yaşamlarının büyük bölümünü geçirdiği konutlarda gürültü denetimi ve sağlıklı bir akustik ortamın sağlanması, bireylerin sağlık, refah ve yaşam memnuniyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Konut içerisinde aşırı gürültüye maruz kalan bireylerde uyku kalitesi düşebilir, stres düzeyi artabilir, konsantrasyon bozuklukları yaşanabilir ve genel yaşam kalitesi olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle, konutların gürültüden etkilenmemesi ve sağlıklı bir akustik ortama sahip olması, bireylerin sağlık ve refahının sağlanmasında önemli etkileri bulunmaktadır. Akustik açıdan sağlıklı bir konut ortamı, insanların dinlenme, çalışma, üretkenlik ve sosyal etkinliklerini sürdürmelerine yardımcı olurken, stresin azaltılmasına ve genel yaşam memnuniyetini artırılmasına katkı sunmaktadır (Işık, 2023).

Konutlar; uyuma, dinlenme, sosyalleşme ve çeşitli günlük etkinliklerin gerçekleştiği yaşam alanlarıdır. Bu sebeple, barındırdıkları işlevlere uygun akustik koşulları sağlamaları ve aynı zamanda bireysel mahremiyet ile sessizlik gibi konfor gereksinimlerini karşılamaları gerekmektedir. Ancak konutlarda karşılaşılan gürültü problemleri, hem yapının dış çevresinden hem de iç mekân düzeninden kaynaklanan etkenlere bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Konutlardaki gürültü sorunları, buldukları çevredeki trafik, açık alan etkinlikleri ve yakın yapılardan kaynaklanan dış mekân gürültülerinden etkilenebilir. İç mekan akustik koşulları, insanların sağlığı, refahı ve genel performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Konutlarda iç mekândan kaynaklanan gürültü unsurları, yapı bünyesindeki farklı kaynaklardan yayılan ve rahatsızlık oluşturan sesleri ifade eder. Bu unsurlar; komşu dairelerden iletilen sesler (örneğin yüksek sesle konuşma veya müzik), tesisat ve mekanik sistemlerin çalışmasından doğan hava, darbe ve titreşim kaynaklı gürültüler ile titreşim

problemlerini kapsamaktadır. Söz konusu gürültüler, konut kullanıcılarının yaşam konforunu ve genel refahını olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahip olabilmektedirler. Sürekli ya da yüksek düzeydeki sesler uyku düzeninin bozulmasına, dinlenmenin zorlaşmasına ve stres düzeyinin artmasına neden olabilirken, tesisat ve mekanik donanımlardan kaynaklanan gürültüler günlük faaliyetlerde rahatsızlık oluşturabilmektedirler. Ayrıca titreşim kaynaklı sorunlar da iç mekândaki akustik rahatsızlığı artırarak kullanıcıların huzurunu azaltabilir. Bu sebeple, iç kaynaklı gürültü faktörlerinin göz önünde bulundurulması ve gerekli denetim önlemlerinin alınması, konutlarda daha sessiz ve konforlu bir yaşam ortamı sağlanması açısından önem taşımaktadır (Işık, 2023).

Gürültünün sağlık üzerindeki etkileri hakkında yapılan bir çalışmada, yol gürültüsü, tren gürültüsü, uçak gürültüsü, park halindeki araç gürültüsü gibi trafik gürültülerinin insanlarda rahatsızlık oluşturan unsurların başında geldiği bunu da, komşu dairelerden gelen gürültüler, merdivenden kaynaklı gürültüler, oynayan çocukların gürültüleri gibi durumlardan kaynaklanan komşu kaynaklı gürültülerin izlediği belirtilmiştir. Ayrıca komşu gürültüsünden kronik olarak şiddetli rahatsızlık duyduğunu belirten yetişkinlerde, kardiyovasküler sistemde, hareket sisteminde ve ayrıca depresyon ve migren riskinde artış olduğu bildirilmiştir (Maschke ve Niemann (2007).

Çevresel gürültü, insan sağlığını ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Gürültü kirliliği, küresel ölçekte kentsel alanlarda yaşam kalitesini tehdit eden ciddi ve giderek artan bir sorundur. İnşaat gürültüsü, kentsel alanlardaki en önemli çevresel kirleticiler arasındadır (Jung vd., 2020). Çok katlı konut binalarında yaşayanlar genellikle yoğun kentsel ortamlarda bulunmaktalar ve konutlarda yaşayan bireyler, inşaat ve yoğun trafik dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan yüksek düzeyde gürültüye maruz kalmaktadırlar. Gürültüye maruz kalmanın rahatsızlık ve uyku bozukluğu gibi kısa vadeli etkileri ve zihinsel ve fiziksel sağlık sorunları da dahil olmak üzere uzun vadeli etkileri olabilir. Hem iç hem de dış mekan gürültüleri rahatsızlığa neden olsa da, özellikle trafik, inşaat ve mahalle faaliyetlerinden kaynaklanan dış mekan gürültüleri, iç mekan gürültü kaynaklarına kıyasla daha fazla rahatsızlığa ve uyku bozukluğuna neden olmaktadır. Çok katlı konut binalarında farklı gürültülere maruz kalmanın sakinler üzerindeki çeşitli etkilerini belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada yapılan analizler sonucunda kat seviyesi ile trafik, inşaat, dış mekan mahalle gürültüsü ve genel dış mekan gürültüsünden kaynaklanan rahatsızlık arasında anlamlı bir negatif korelasyon olduğunu ortaya çıkmıştır. Ayrıca pencere boyutu, devam eden inşaat yakınlık, daire tipi ve bina yaşı gibi bina ile ilgili faktörlerin dış gürültülerden kaynaklanan rahatsızlığı önemli ölçüde etkilediğini, ancak kişisel ve demografik özelliklerin hiçbirinin dış gürültülerden kaynaklanan

rahatsızlığı önemli ölçüde etkilemediğini ortaya konmuştur. Bunun yanında dış mekan gürültülerinin iç mekan gürültülerinden daha sorunlu olduğu tespit edilirken, önemli sayıda insan yine de iç mekan gürültülerinden rahatsızlık duyduğunu bildirmiştir. Çalışma sonucunda, birçok konut sakininin hem iç hem de dış mekan gürültülerinden kaynaklanan akustik rahatsızlık yaşadığı görülmüştür. Ana yola yakınlık, balkon varlığı ve hava yalıtımının dış mekan gürültüsünden duyulan rahatsızlık üzerinde hiçbir etkisi bulunmamıştır. İç mekan gürültüsünden duyulan rahatsızlık için ise balkon varlığı, daire tipi, asansörlere ve çöp oluşuna yakınlık etkili olmuştur. Yaş, mülkiyet, ikamet süresi iç mekan gürültülerinden duyulan rahatsızlığı olumsuz etkilerken, diğer sakinlerle birlikte yaşamak, evcil hayvan sahibi olmak ve komşularla daha iyi ilişkiler kurmak rahatsızlık seviyelerini azalttığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda trafik, inşaat ve dış mekan mahalle etkinliklerinden kaynaklanan gürültünün, iç mekan gürültülerine kıyasla daha fazla rahatsızlığa ve uyku bozukluğuna neden olduğunu belirlenmiştir. İç mekan gürültüsü için, komşulardan gelen havadan yayılan gürültü ve ısıtma ve soğutma sistemlerinden kaynaklanan gürültü, diğer kaynaklardan daha rahatsız edici olarak belirlenmiştir (Andargie vd., 2020). Çevresel gürültü, ulaşım araçları, karayolu trafiği, demiryolu trafiği, hava trafiği ve endüstriyel faaliyetler gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan istenmeyen veya zararlı dış mekan sesleri olarak tanımlanır (Murphy ve King, 2014). Çevresel gürültü, canlı organizmaların sağlığı ve refahı üzerinde ciddi etkileri olan başlıca çevresel sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir (Farooqi vd., 2022).

4. İç Mekanda Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Günümüz koşullarında gürültü, modern hayatın değişmez bir parçası olarak ortaya çıkmaktadır. Gürültü kirliliği, ulaşım (demiryolu, karayolu, havayolu vb.), inşaat faaliyetleri, yüksek sesli müzik, sanayiye bağlı gürültüler, ev içi kaynaklı gürültüler, sosyal ve eğlence kaynaklı gürültüler vb. nedenlerle artma eğilimindedir. Aşırı derecede gürültüye maruz kalma vücudu, zihni ve uzun vadeli sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Araştırmalar, aşırı gürültüye uzun süreli maruz kalmanın kalp hastalığı riskini artırabileceğini, uykuyu bozabileceğini, konsantrasyonu azaltabileceğini ve hatta bazı kişilerde kaygı, iş ve okul performansında düşüş, işitme kaybı veya depresyona yol açabileceğini göstermektedir. Gürültü, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından uzun zamandır insan sağlığı için önemli bir tehdit olarak belirlenirken ve yaşamın her aşamasındaki bireyleri doğrudan etkilemektedir (World Health Organization, 2011).

Konut binalarında, 70 dB(A) üzerindeki gürültü seviyeleri genellikle rahatsızlığa neden olmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyerek çeşitli

hastalıkların oluşmasına yol açmaktadır (Neitzel vd., 2015). Son yıllarda, konut ortamlarında gürültü (endüstriyel gürültü, trafik gürültüsü, inşaat gürültüsü ve mahalle gürültüsü) ile sağlık arasındaki ilişkiyi anlamada önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Endüstriyel gürültüye genellikle daha geniş mesafelere yayılan ve DSÖ'nün önerdiği 40 dB(A) standartlarını aşan düşük frekanslı gürültü eşlik etmektedir (World Health Organization, 2009; Silva vd., 2021).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) (1999) Topluluk Gürültüsü Yönergeleri kapsamında, toplumsal gürültü (çevresel gürültü, konut gürültüsü veya ev gürültüsü olarak da adlandırılır), endüstriyel işyerlerindeki gürültü hariç tüm kaynaklardan yayılan gürültü olarak tanımlanmaktadır. İç mekan gürültüsünün ana kaynakları ise, genel olarak havalandırma sistemleri, ofis makineleri, ev aletleri ve komşulardır. Tipik mahalle gürültüsü de, yeme-içme sektörüne (restoran, kafeterya, diskotek vb.) ilişkin mekanlardan ve tesislerden; canlı veya kayıtlı müzikten; motor sporları da dahil olmak üzere spor etkinliklerinden; oyun alanlarından; otoparklardan ve havlayan köpekler gibi evcil hayvanlardan kaynaklanmaktadır. Konut yaşam alanlarındaki gürültü toleransları bakımından iyi bir uyku kalitesi için gece yatak odalarında 30 dBA'dan (ağırlıklı desibel) daha düşük ve sınıf mekanında iyi bir öğretim ve öğrenme ortamı sağlayabilmek için 35 dBA'dan daha düşük gürültü seviyeleri önerilmektedir. Bir binanın gürültüye en çok maruz kalan cephesinde kabul edilebilir dış mekan gürültü seviyesi 55 dBA'dır (World Health Organization, 1999).

Genel olarak gürültü, bilişsel sağlık için zararlı bir maruz kalma olarak kabul edilmektedir. Önceki çalışmalar büyük ölçüde endüstriyel faaliyetler, inşaat ve ulaşım gibi dış mekan çevresel gürültü kaynaklarının bilişsel sağlık üzerindeki etkisine odaklanmıştır. İç mekan komşu gürültüsü ile bilişsel sağlık arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan bir çalışmada, komşu gürültüsünün sakinlerin bilişsel sağlığıyla olan karmaşık ilişkisini araştırmayı ve bu ilişkinin uyku bozukluğu, psikolojik stres ve sosyoekonomik faktörler tarafından nasıl etkilenebileceğini analiz edilmiştir. Sonuç olarak komşu gürültüsünün algılanan sıklığının bilişsel sağlığı doğrudan ve uyku bozukluğu ve psikolojik stresin aracı etkisiyle dolaylı olarak etkileyebileceği belirlenmiştir. Aynı çalışmada darbe sesleri, yüksek sesle konuşma, gürültülü canlı yayınlar, yüksek sesli müzik, televizyon gürültüsü ve masa/sandalye sürtünmesi gibi farklı kaynaklardan gelen komşu gürültüsünün sağlık üzerindeki etkilerinin benzer olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca gürültü azaltma müdahalelerinin, komşu gürültüsünün bilişsel sağlık üzerindeki doğrudan etkisini azaltabileceği bildirilmiştir (Chen vd., 2026).

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkileri değişkendir ve kişiden kişiye bağlı olarak değişebilmektedir. Sosyal hayatta insanı olumsuz yönde

etkileyebilecek farklı gürültü kaynakları bulunmaktadır. Gürültü günlük yaşamda her yerde olmakla beraber hem işitsel hem de işitsel olmayan sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Gürültü etkileri, gürültünün insan sağlığını etkilediği hem doğrudan hem de dolaylı yolları içermektedir. Gürültü, otonom ve endokrin sistemleri aktive eden stres tepkilerinin uyarılması yoluyla kesişen doğrudan ve dolaylı yollarla fizyolojik tepkilere neden olur ve diğer eşlik eden rahatsızlıkların yanı sıra kardiyovasküler fonksiyonu ve ruh sağlığını etkilemektedir (Gannouni vd., 2024).

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkileri gürültü şiddetine ve maruziyet süresine göre değişebilmektedir. Gürültüye bağlı işitme kaybı, günlük yaşamda ve mesleki ortamlarda oldukça yaygındır ve sosyal gürültüye maruz kalma nedeniyle giderek daha fazla ortaya çıkmakla beraber hem de işitsel olmayan sağlık etkilerine neden olabilir. Gürültüye bağlı işitme kaybı, iş ortamlarında oldukça yaygındır ve giderek artan bir şekilde sosyal gürültüye maruz kalma (örneğin, kişisel müzik çalarlar aracılığıyla) nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Çevresel gürültüye maruz kalmanın halk sağlığı üzerindeki işitsel olmayan etkilerine dair kanıtlar giderek artmaktadır. Gözlemsel ve deneysel çalışmalar, gürültüye maruz kalmanın rahatsızlığa yol açtığını, uykuyu bozduğunu ve gündüz uykusuna neden olduğunu, hastanelerde hasta sonuçlarını ve personel performansını etkilediğini, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıkların görülme sıklığını artırdığını ve okul çocuklarında bilişsel performansı bozduğunu ortaya konmuştur (Basner vd., 2014).

Gürültü kirliliği, halk sağlığını önemli ölçüde etkilemekte ve buna bağlı olarak gerçek (ekonomik) ve soyut (refah) kayıplara yol açarak konut, sosyal ve çalışma ortamını etkileyebilmektedir. Gürültü, nüfus artışı, kentleşme ve buna bağlı olarak giderek daha güçlü, çeşitli ve yüksek hareketlilikteki gürültü kaynaklarının kullanımındaki artış nedeniyle, eskisinden daha şiddetli ve yaygın hale gelmiştir ve şiddeti artmaya devam etmektedir. Gürültü kirliliğinin artmasına çevresel gürültünün önemli kaynakları olan karayolu, demiryolu ve hava trafiğindeki sürekli artışlarda katkı sunmaya devam etmektedir. Fabrika iş yerlerinde çalışanlar, rutin olarak makinelerden kaynaklanan yüksek gürültüye maruz kalmaktadır. Gürültü kirliliğinin potansiyel sağlık etkileri çok fazla olmakla beraber, yaygın, kalıcı, tıbbi ve sosyal açıdan önemlidir. Gürültü, işitme kaybına, uyku bozukluğuna, kardiyovasküler hastalıklara, sosyal engellere, verimlilik düşüşüne, olumsuz sosyal davranışlara, rahatsızlık reaksiyonlarına, devamsızlığa ve kazalara yol açabilen önemli bir halk sağlığı sorununu temsil etmektedir. Kişinin mülkünden ve boş zamanından keyif alma yeteneğini bozabilir ve antisosyal davranış sıklığını artırabilir. Gürültü, kronik stres gibi genel sağlık ve refahı olumsuz etkileme potansiyeline sahip önemli bir unsurdur. Konut, sosyal

ve öğrenme ortamlarını bozarak ve buna bağlı ekonomik kayıplara yol açarak gelecek nesilleri olumsuz etkilemektedir (Jariwala vd., 2017).

Çalışma ortamında gürültüyle ilgili çok sayıda şikayetin bir nedeni, gürültünün çalışma ortamında kolayca hissedilebilen fiziksel bir olgu olmasıdır. Düşük frekanslı gürültünün performans etkilerini değerlendiren 14 kişinin katıldığı bir çalışmada, biri ağırlıklı olarak orta frekanslı, diğeri ağırlıklı olarak düşük frekanslı iki havalandırma gürültüsü kullanılarak bilişsel testlere maruz bırakılmıştır. Ayrıca sübjektif semptomları, ruh hali üzerindeki etkileri ve sıcaklık, ışık ve gürültü nedeniyle test sonuçlarına tahmini müdahaleyi değerlendirmek için anketlerden yararlanılmıştır. Sonuç olarak düşük frekanslı gürültüye maruz kalma, orta frekanslı gürültüye maruz kalmaya kıyasla daha düşük sosyal yönelim (daha hoşnutsuz, daha az işbirlikçi, yardımsever) ve daha düşük hoşnutluk eğilimi (daha rahatsız, daha az memnun) ile sonuçlanmıştır (Persson Waye vd., 1997).

Karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü, ciddi bir halk sağlığı sorunu ve çevresel rahatsızlık olarak ortaya çıkmaktadır. Karayolu trafiği gürültüsü, olumsuz psikolojik ve fizyolojik etkileri nedeniyle küresel ölçekte ciddi bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir. Karayolu trafiği gürültüsünün işitme kaybı, uyku yoksunluğu ve kardiyovasküler hastalık dahil üzere olumsuz sağlık etkileri vardır. Daha önceki yapılan araştırmalardan birçoğu, yol trafiği gürültülerinin uyku üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu araştırmalardan elde edilen verilerin çoğu laboratuvar veya saha deneylerinden elde edilmiş olup, bireylerin uyku kalitesinin ve miktarının yol trafiği gürültüsünden olumsuz etkilenebileceğini ortaya koymuştur (Tong vd., 2023). Yapılan bazı literatür çalışmalarında trafik gürültüsü ile psikolojik sıkıntı, bilişsel işlev, yaşam kalitesi, kardiyovasküler hastalık ve ölüm arasında tutarlı bir ilişki olduğu; örneğin, trafikte 10 dB'lik bir gürültüsü artışının, tüm nedenlere bağlı ölüm riskini %8 oranında artırdığını ve kardiyovasküler hastalık riskini %2 oranında artırdığı belirlenmiştir. Birlikte ele alındığında, üç gürültü türü (özellikle endüstriyel gürültü, inşaat gürültüsü ve trafik gürültüsü) ile bilişsel sağlık arasında ilişkiler olduğunu doğrulamıştır. Bu sağlık sonuçları, insanların günlük düşünme, öğrenme ve hafıza süreçleriyle içsel olarak bağlantılıdır. Ayrıca bu çalışmalardan elde edilen verilere göre, gürültünün uyku bozukluğu, rahatsızlık, depresyon, kızgınlık vb. gibi aracı faktörler aracılığıyla bilişsel işlevleri dolaylı olarak etkileyebileceğini de göstermiştir. Ayrıca başka çalışmalardan elde edilen veriler analiz edildiğinde, kanıtlar gürültüye maruz kalmanın bireylerde uyku bozuklukları, anksiyete, depresif belirtiler, işitme kaybı, yüksek tansiyon, bilişsel işlev bozuklukları ve kardiyovasküler hastalıklar gibi bir dizi sağlık sorununa yol açabileceğini sürekli olarak göstermiştir (Chen vd., 2026).

Yaşam Kalitesi, bireylerin genel refahını ve yaşam memnuniyetini yansıtan çeşitli alanları kapsayan çok boyutlu bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Gürültünün sağlıkla ilgili yaşam kalitesi (health-related quality of life-HRQoL) üzerindeki etkisi bireyin genel sağlık durumunu yansıtan refahın hem fiziksel hem de zihinsel ve sosyal işlevsellik gibi boyutlarını içermesinden dolayı oldukça önemlidir. Çevresel stres faktörleri arasında, gürültüye maruz kalmanın özellikle yaşam kalitesi üzerinde zararlı etkileri olduğu gösterilmiştir. Karayolu trafiği ve demiryolu gürültüsü de dahil olmak üzere ulaşım gürültüsü, kentsel alanlarda çevresel gürültünün önemli bir kaynağı olmakla beraber düşük yaşam kalitesi ile ilişkilendirilmektedir. Gürültünün yaşam kalitesini etkilediği mekanizmalar çok yönlü olabilmektedir. Gürültüye maruz kalma, uyku bozukluğuna, artan stres seviyelerine ve azalan iyileştirici kapasiteye yol açabilir; bunların tümü fiziksel ve zihinsel sağlığı bozabilir. Yapılan bir çalışmada apartmanda yaşayanlar arasında dış mekan ulaşım gürültüsüne maruz kalma ile HRQoL arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Sonuç olarak, gürültüye maruz kalma düzeyleri ile HRQoL puanları arasında anlamlı negatif korelasyonlar olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, şehir sakinlerinin yaşam kalitesini iyileştirmek için pratik gürültü azaltma stratejilerine duyulan ihtiyacın önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Park ve Lee, 2025).

Evdeki kötü akustik koşullar ve ev ortamı faktörleri olumsuz sağlık etkilerine sahip olabilir. Çevresel gürültülerin yanında komşulardan gelen iç gürültü ve binanın inşa yılı, gürültü rahatsızlığına ve sağlık semptomlarına önemli katkıda bulunan faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Ev ortamı gürültü türlerinin insan üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çalışmada apartman sakinlerine tıbbi soruları ve kişisel faktörleri içeren bir anket uygulaması yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ankete katılan katılımcıların %11,9'u evde genel olarak gürültü rahatsızlığı, %13,2 'si komşulardan gelen ses/radyo/TV/müzik/benzer seslerden kaynaklanan gürültü rahatsızlığı, (%16,5'i komşulardan gelen sürtünme sesi/ayak sesleri/vurma seslerinden kaynaklı gürültü rahatsızlığı ve %16,1'i ise trafik gürültüsünden kaynaklı rahatsızlık duymuş oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmadan elde edilen bir diğer sonuç, gürültü rahatsızlığı yorgunluk, baş ağrısı ve konsantrasyon güçlüğü ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanında gürültünün etkileri üzerinde kullanılan binanın yaşı, nüfus yoğunluğu, tesisat, havalandırma, fan, ısı pompaları gibi mekanik sistemler, dairelerin kiralanması, daha sıcak bir iklimde yaşamak gibi iç ve dış kaynaklardan gelen faktörlerin etkili olabileceği ortaya konmuştur (Wang ve Norbäck, 2021).

Gürültüye maruz kalma, maruz kalan bireylerde potansiyel olarak olumsuz sağlık etkilerine yol açabilecek bir stres faktörü olarak kabul edilir. Çevresel gürültünün sağlık üzerindeki olumsuz etkisi dünya çapında giderek daha fazla

kabul görmektedir. Gürültüye karşı en yaygın ve ani tepki, fizyolojik stres tepkilerini harekete geçirebilen ve hem fiziksel hem de zihinsel semptomlara yol açabilen bireysel olarak deneyimlenen bir olgu olan rahatsızlıktır. Gürültünün insan üzerindeki etkileri dikkate alındığında daha çok trafik gürültüsü de dahil olmak üzere çevresel gürültü türleri analiz edilmiş, komşu kaynaklı gürültülerin etkileri hakkında çok fazla bir araştırma yapılmamıştır. Yapılan çalışmada komşu gürültüsü rahatsızlığı ile sekiz farklı fiziksel ve zihinsel sağlık semptomu arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Çok katlı konutlarda yaşayan yetişkin katılımcıların %6,7'si son iki hafta içinde komşu gürültüsünden çok rahatsız olduğunu bildirirken, %28,9'u hafif derecede rahatsız olduğunu bildirmiştir. Ayrıca çalışmanın sonuçları, komşu gürültüsünden kaynaklanan rahatsızlığın çeşitli vücut bölgelerinde ağrı, baş ağrısı, yorgunluk, depresyon ve anksiyete gibi sekiz farklı fiziksel ve zihinsel sağlık semptomuyla önemli ölçüde ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu rahatsızlıkların hissedilmesinde cinsiyetin etkili olduğu kadınlar arasında, komşu gürültüsünden rahatsız olma ile omuz veya boyunda ve kollarda, ellerde, bacaklarda, dizlerde, kalçalarda veya eklemlerde ağrı veya rahatsızlıktan çok rahatsız olma arasında güçlü bir ilişkinin ortaya çıktığı, bu durumun erkek katılımcılarda gözlemlenmediği belirlenmiştir (Jensen vd., 2019).

Gürültüyle başa çıkma yeteneğinin yetersizliği, daha az bir nöroendokrin tepkiye ve nihayetinde hastalıklarına yol açabilen bir durum olarak ortaya çıkabilmektedir. Kalıcı gürültü stresinin sağlık üzerindeki etkileri, farklı fonksiyonel sistemlerde 10-15 yıl sonra ortaya çıkabilmektedir. İnsanı rahatsız eden gürültüler genelde çevresel faktörlerden kaynaklanırken, komşu kaynaklı gürültüler de negatif yönde insan sağlığını etkileyebilmektedir. Komşu kaynaklı gürültüler, konuşma, müzik veya ayak sesleri gibi seslerdir. Komşu gürültüsü şiddetli rahatsızlık yoluyla sağlığı etkilemekte, kronik komşu gürültüsünden kaynaklanan rahatsızlığın sadece kardiyovasküler semptom riskiyle değil, aynı zamanda bronşit gibi solunum yolu semptomlarının yanı sıra artrit ve migren riskleriyle de ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Gürültü kaynaklı patolojik değişiklikler kardiyovasküler sistemde, solunum sisteminde ve kas-iskelet sisteminde ortaya çıkabilir veya psikolojik rahatsızlıklar olarak ortaya çıkabilir. Ayrıca gürültüye karşı, yaş grupları arasında bir değerlendirme yapıldığında, yetişkinlerde kardiyovasküler riskin artmasıyla beraber depresyon ve migren riskinin de yükseldiği ortaya konmuştur (Maschke ve Niemann, 2007).

Daha önceki yapılan bilimsel çalışmaların çoğunda dış mekan çevresel gürültülerin etkilerine odaklanırken, iç mekan kaynaklı gürültülerin etkileri bakımından kapsamlı çalışmaların sayısı yetersizdir. Konut alanlarında gürültü rahatsızlığının en önemli kaynaklarının başında trafik daha sonra komşular

gelmektedir. İsveç'ten yapılan bir çalışmada binanın bir tarafında trafik gürültüsüne, diğer tarafında ise tesisatlardan kaynaklanan düşük frekanslı gürültüye maruz kalan katılımcılar üzerinde bu gürültü türlerinin etkileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak tesisat gürültüsünden iç mekanlarda çok veya aşırı derecede rahatsız olduğunu bildiren kişilerin oranı, trafik gürültüsüne göre iki katından daha fazla olduğu bildirilmiştir (Persson Wayne vd., 2003).

İngiltere ve Galler'de komşu kaynaklı gürültülerin etkilerinin analiz edildiği bir çalışmada konutlar arasındaki ses yalıtımının yetersizliği hakkındaki şikayetler analiz edilmiştir. 40 katılımcının şikayetlerinin incelenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar, evde duyulan gürültülerin üç düzeyde duygusal tepkiye neden olduğu, müzik, televizyon, radyo, sesler, ayak sesleri, kapıların kapanması ve çarpması, prizler, anahtarlar, mutfak tezgahlarına çarpma sesleri ve tesisat gürültüleri gibi seslerin katılımcılar tarafından duyulan gürültüler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler ve telefonlar gibi ev aletlerinden kaynaklanan gürültüler de ev içi ses yalıtımıyla ilgili şikayetlerin bir parçası olarak değerlendirilmiştir (Grimwood, 1997).

Günümüzde insanların çoğu çok katlı yüksek yapılarda yaşamaktadır. 2017 yılında, 14.022 katılımcının dahil edildiği bir çalışmada katılımcıların gürültü rahatsızlığı, katılımcılara son iki hafta içinde evlerinde komşulardan ve trafikten kaynaklanan gürültü rahatsızlığı sorularak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında katılımcıların %36'sının komşu gürültüsünden, %22'sinin ise trafik gürültüsünden rahatsız olduğunu bildirmiştir. Ayrıca katılımcılar üzerinde yapılan analizlerde, komşu kaynaklı gürültüye bağlı rahatsızlık ile yorgunluk ve uyku sorunları arasında anlamlı ve güçlü ilişkiler saptanmıştır. Bununla birlikte ayak sesleri, havlayan köpekler, yüksek sesli tartışmalar ve kapı çarpmaları gibi ani ve yüksek şiddetteki sesler, bireylerin dinlenme ve uyku sürelerini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir (Rasmussen ve Ekholm, 2019).

5. İç Mekanda Gürültü Kontrolüne Yönelik Bazı Ses Emici Malzemeler

Yaşam alanlarında kullanıcıları rahatsız eden farklı kaynaklara bağlı gürültüler olmaktadır. Bunlardan bazıları ulaşım araçlarına (karayolu, havayolu, demiryolu) bağlı gürültüler; üretim ve endüstriyel faaliyet kaynaklı çevresel gürültüler; elektrikli ev aletlerinden, ısıtma ve havalandırma sistemleri, ofis makineleri ve komşu kaynaklı iç mekan gürültüleri; yeme-içme sektörü, yüksek sesli müzik faaliyetleri, motor ve spor etkinlikleri, oyun alanları, otoparklar ve evcil hayvanlardan kaynaklı gürültülerin oluşturduğu tipik mahalle gürültüleri yaygın olarak görülmektedir. İç ortamdaki gürültü seviyesini kontrol etmek, kullanıcıların refahının sağlanması ve devam ettirilmesi bakımından önemlidir.

Bu hem çevresel hem de iç gürültü kaynaklarıyla ilgilidir ve konut mekanlarda önemli ve gereklidir. Bunun için binanın konumlandırılmasından başlayarak, iç mekan planlamasına, bina teknolojisine ve malzemelerine ve son olarak mobilyalara kadar farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar dikkatlice uygulandığında, gürültüyle ilgili sağlık sorunlarının yükü azaltılabilir ve dinlenmeyi, odaklanmayı ve dayanıklılığı destekleyen ortamlar oluşturmaya katkı sunabilir (Gamal, 2025).

Gürültü kontrol çözümlerinde aktif ve pasif yöntemler etkin bir şekilde kullanılabilir. Aktif gürültü kontrolü (ANC), sesin dalga formunu gerçek zamanlı olarak analiz ederek ve bir kontrol sesi üreterek gürültüyü aktif olarak azaltan bir tekniktir ve kontrol edilecek ses dalgalarına karşı koymak için belirli bir akustik sinyalin uygulanmasını içerir. Düşük frekanslar için etkili olmasına rağmen, yüksek maliyetlidir ve üç boyutlu alanlarda kullanımı zordur (George ve Panda, 2013). Pasif gürültü kontrolü (PNC) alanı, emiciler veya bariyerler kullanarak gürültü seviyelerini azaltmayı amaçlar. Pasif kontrol yöntemi en çok kullanılan çözümdür; aşırı akustik enerjiyi emilim, iletim veya difüzyon yoluyla dağıtmayı amaçlamaktadır. Pasif gürültü kontrolü, gürültü kaynağına doğrudan uygulama yoluyla gürültüyü pasif olarak azaltan bir tekniktir. Maliyet etkinliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee vd., 2002; George ve Panda, 2013). Geleneksel akustik gürültü azaltma teknikleri, kulak tıkaçları, kulak koruyucuları, ses yalıtım duvarları, susturucular ve ses emici malzemeler gibi pasif gürültü kontrolüne dayanmaktadır (Kajikawa vd., 2012). Bazı pasif gürültü kontrol malzemelerine örnek olarak köpükler (Amares vd., 2017), keçe (Aygün, 2017), lifler (Aram ve Mehdi-pour-Ataei, 2016) ve yüksek performanslı ve düşük maliyetleri nedeniyle cam yünü (Mariam ve Mohammadreza, 2015) örnek olarak verilebilir ve bunlar bina uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İş yerlerinde ses yalıtım yapıları olarak çeşitli malzemeler kullanılmıştır; bunlar arasında doğal veya geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmış akustik olarak sürdürülebilir malzemeler de bulunmaktadır. Gürültü kontrolü için kullanılan sürdürülebilir malzemelerin büyük çoğunluğu; doğal malzemeler; geri dönüştürülmüş malzemeler ve karışık ve kompozit malzemeler olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir (Mariam ve Mohammadreza, 2015). Öte yandan, 20-200 Hz gibi düşük frekans aralıklarında pasif gürültü kontrol malzemelerinin verimliliği ve ses emilim performansı, aktif malzemelere kıyasla daha düşük olmaktadır (Zhang vd., 2012), bu durumun telafi edilebilmesi için olması gerekenden daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (Wise ve Leventhall, 2010). Pasif gürültü kontrol malzemelerinin kullanımındaki bazı zorluklar, öncelikle düşük frekans seviyelerinde sesin uzun dalga boyuyla ilgilidir ve bu durum da zayıf ses emilimine neden olmaktadır (Kim vd., 2019).

Evlerde istenmeyen gürültüyü başarılı bir şekilde ortadan kaldırmak, sakinlerin refahında önemli bir iyileşme sağlayabilir. Konut mekanlarda dışarıdan gelen gürültüye karşı ilk önlemin alınması gerek yerler yapının dış cephesidir. Yapı türlerinin tamamında dış cephedeki yalıtım amaçlı kullanılan yoğun malzemeler içeri giren seslerin azaltılmasına neden olurlar. Ayrıca binanın konumu ve yönü, yoğun trafikli yollar veya demiryolları gibi gürültü kaynaklarından uzak durarak, yüksek performanslı akustik malzemelere olan ihtiyacı azaltabilir. Tasarım aşamasında yapılacak stratejiler, dış ortamdan, bitişik evlerden ve konut içindeki alanlar arasında ses geçişini azaltılmasına katkı sağlayabilir. Mekanlarda gürültüsünün azaltılabilmesi, iç mekan kaplamalarında ses emici malzemeler kullanılabilir. İç mekanda kullanılan yumuşak dokulu mobilyalar da ses emici görevi görürler. Bitkiler ve iç mekan yeşillikleri, görsel olarak hoş görünürken aynı zamanda daha fazla ses emiliminin sağlanmasına katkı sunarlar (Gamal, 2025).

İç mekanların tasarımında ve dekorasyonunda oldukça fazla malzeme türü kullanılmaktadır. Mekan içerisindeki akustik kontrolünün sağlanabilmesi için ses ve malzeme arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Mekanın akustik düzeninin sağlanabilmesi için mekana uygun malzeme tercih edilmesi ve bu malzemenin akustik performansının bilinmesi bir zorunluluktur. Ses ile malzeme arasındaki ilişki 3 aşamada gerçekleşmektedir. Öncelikle ses dalgası bir malzeme yüzeyine geldiğinde bir kısmı malzeme bünyesinden geçerek ilerlemeye devam eder. Ses dalgaları malzeme yüzeyine çarptığında bir kısmı yansiyarak geri döner. Son olarak ses dalgalarının bir kısmı ise malzeme tarafından yutulur yani sönümlenir (Kang vd., 2019; Özdil vd., 2020). Bu bakımdan kullanılan her malzemenin akustik özellikleri, ses geçirme, yansıtma ve yutma değerleri birbirinden farklı olmaktadır. Her malzemenin amacına uygun olarak kullanılması iyi bir akustik düzen sağlanması bakımından önemlidir. Yaşam alanlarında mevcut gürültünün olumsuz etkilerinden insanları korumak için iyi ses emme özelliğine sahip malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da, yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının akustik performansına bağlıdır (Fiala vd., 2019; Tao vd., 2021).

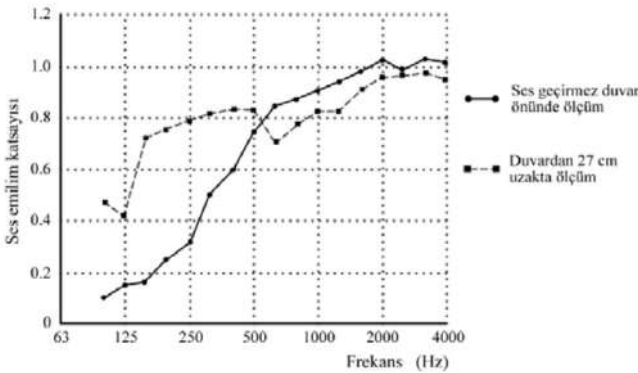
Ses emici malzemeler, ses dalgalarının enerjisini mümkün olduğunca emebilme, aynı zamanda yansımayı en aza indirgeyebilme ve ses dalgalarının enerjisini iletebilme yeteneğine sahip olarak tanımlanır. Yansıttığından daha fazla ses dalgasını emebilen ve iletebilen bir malzeme, iyi bir ses emici malzeme olarak kabul edilmektedir. Ses emici malzemelerde, gürültünün en aza indirilebilmesi için gözeneklilik, malzeme kalınlığı, ağırlık, emme yeteneği ve frekans emme aralığı gibi özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir. Ses emici malzemeler, enerjiyi dağıtarak ve ısıya dönüştürerek gürültüyü azaltan pasif

sistemler olarak değerlendirilmektedir. Akustik emilim, ses dalgalarının frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslarda gözenekli malzemelerde, ses dalgası düzensiz gözeneklerden geçerken sürtünme nedeniyle ısı kaybına neden olan adyabatik bir süreç gerçekleşir. Öte yandan, düşük frekanslarda, poroelastik malzemeler ısı alışverişinden kaynaklanan enerji kaybıyla sesi emerler (Sagartzazu vd., 2008).

Gürültü kirliliği, binalara ses yalıtım ve ses emici malzemeler eklenerek azaltılabilir. Ses yalıtımı, ses enerjisinin bir sistem veya malzeme kullanarak bloke edilmesi ve gürültüye neden olan seslerin bölmelerden geçmesini önleme yönelik yaklaşımlardır. Ses emilimi ise kapalı ortamlarda ses yankılanmasını azaltmak için ses enerjisini emme yöntemidir. Ses emilimi, membran tipi, gözenekli ve mikro delikli ses emiciler kullanılarak sağlanabilmektedir (Jang, 2023).

5.1. Mineral Bazlı Elyaf Malzemeler

Mineral elyaf yüksek elastikiyete ve korozyona, neme, ısıya, aşınmaya ve yıpranmaya karşı olağanüstü dirence sahip geniş bir elyaf yelpazesini ifade eder. Ayrıca, mineral elyaflar düşük elektriksel iletkenliğe sahiptir ve yanmazdır. Mineral elyaflar, yapı malzemeleriyle (beton, tutkal ve sıva gibi) mükemmel uyumluluğa sahiptir, bu nedenle büyük miktarlarda mineral elyaf çıkarılmaktadır (Danish ve Ozbakkalolu, 2023). Bunlar, mineral kökenli doğal içeriklerden üretilmektedir. Bu gruba giren malzemelere asbest, silikon, magnezyum oksit ile taş esaslı ürünler (taş yünü, cam yünü vb.) örnek verilebilir. Bu tür malzemeler genellikle belli bir basınç altında preslenerek ya da bağlayıcı maddelerle birleştirilerek imal edilir ve farklı yüzey kaplama katmanlarıyla birlikte uygulanabilir (Erol, 2006).



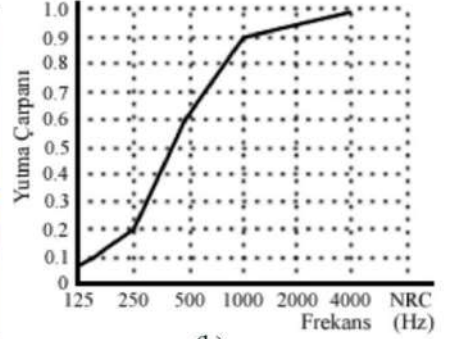
Görsel 1: 40 mm kalınlığında mineral elyaf levhaların uygulama şekline göre ses emilim katsayısı (Akt., Erol, 2006)

5.1.1. Cam Yünü

Tipik bir gözenekli malzeme olan cam yünü, cam liflerinden oluşan sürekli gözenekler sayesinde sağladığı mükemmel performans nedeniyle ses emiliminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapısal kırılgenliğini azaltmak için cam yünü bazen yüzeyine ince bir koruyucu malzeme ile kaplanır. Yüzeyine kapatılan bu koruyucu kaplamanın ses emilim yeteneklerini artırabileceğini göstermektedir (Sakamoto vd., 2024). Cam yününün kullanım esnekliğinden dolayı yüzeylerine çelik veya alüminyum levha gibi malzemeler yapıştırılarak sandviç panel şeklinde de kullanılabilir. Bu paneller, üstün termal ve akustik izolasyon sağlamak üzere tasarlanmıştır ve enerji verimli binalar için ideal bir malzemedir. Cam yünü malzemeler farklı kalınlıklarda ve yoğunluklarda üretilebilmektedir.



(a)



(b)

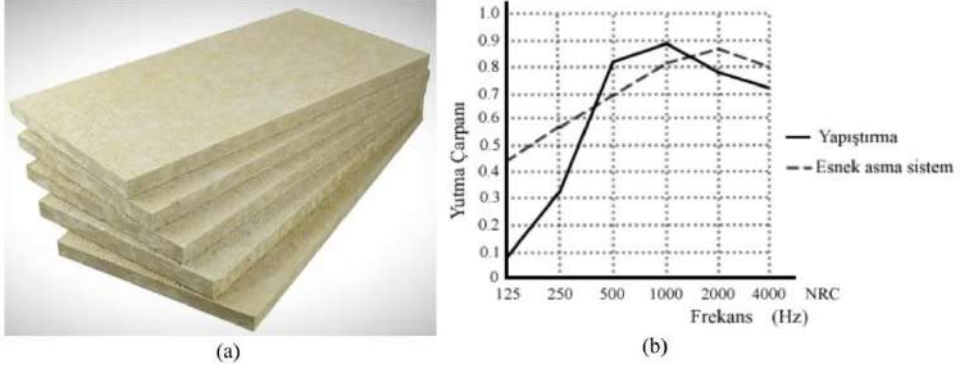
Görsel 2: a: Cam yünü şiltesi (URL-1); b: Cam yünü asma tavan levha ses yutma çarpanı (kalınlık: 2.5 cm, yoğunluk: 50 kg/m³) (Akt., Erol, 2006)

Cam, yalıtım malzemesi olarak; çapları 3-5 mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Camyünü lifli yapıda olduğundan dolayı kapiler emicilikleri yüksektir. Cam yünü, ısı yalıtım malzemesi olarak dış cephelerde, konut ve yapı uygulamalarında ve ayrıca giydirme cephe sistemlerinde tercih edilebilir. İç mekândan yalıtım yapılması durumunda, cam yününün sıcak tarafa bakan yüzeyinin buhar kesici bir tabaka ile korunması gerekebilir. Kapalı çatılarda mertek aralarında uygulanması, buhar kesici kullanılması koşuluyla mümkündür. Ayrıca su itici silikon katkısı içermesi halinde, iki duvar arasında da kullanılabilir (Akıncı, 2007).

5.1.2. Taş Yünü

Mineral kökenli, elyafli bir ses yalıtım malzemesidir. Taş yünü, 1350°C - 1400°C'de ham maddenin ısıtılması ve liflere dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Kullanım amacına ve kullanım yerine göre farklı boyutlarda, farklı

teknik özelliklere ve farklı yüzey malzemelerine sahip şilte, levha, boru veya dökme formlarda üretilebilme imkanı bulunmaktadır. Yapılarda ısı yalıtımı, ses yalıtımı, akustik konfor ve yangın güvenliği için kullanılan ideal bir malzemedir (URL-2).



Görsel 3: a: Taş yünü şiltesi (URL-2); b: Yüzeyi çizikli mineral lif levha yutma çarpanı (kalınlık: 2 cm) (Akt., Erol, 2006)

Bazalt ya da diyabaz taşının yüksek sıcaklıklarda eritilip lif formuna dönüştürülmesiyle üretilen bir yalıtım malzemesidir. Taş yününde liflerin düzensiz ve çok yönlü dağılım göstermesi, cam yününe kıyasla daha yüksek dayanım sağlamaktadır (Akıncı, 2007). Ses yalıtımı gereken yerlerde kullanım sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, ses yalıtımı köprülerinin oluşmasını engellemektir (Erol, 2006). Taş yünü liflerinin yönünün değişmesi nedeniyle, taş yünü levhanın mükemmel yangın önleme, ısı koruma, ısı yalıtımı ve ses emme özelliklerine sahip olmasının yanı sıra, çekme ve basınç dayanımını da büyük ölçüde artmaktadır (Lu, 2020).

Yapılan bir çalışmada farklı kalınlıklarda taş yünü ve cam yünü malzemenin dolgu olarak kullanıldığı sandviç panellerde, dolgu malzemesinin türü, dolgu malzemesi kalınlığı, panel katman sayısı ve kalitesinin bölme duvar boşluğunun ses yalıtım performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar gösteriyor ki, cam yünü veya taş yünü malzemeleriyle dolgu yapılması, sandviç bölme duvarlarının ses yalıtımını önemli ölçüde iyileştiriyor ve dolgu malzemesinin kalınlığının ve panel katman sayısının artırılması, ses yalıtım performansını daha iyileştiriyor. Araştırma sonuçları, sandviç hafif bölme duvar panellerinin ses yalıtım tasarımının optimizasyonu için teorik bir temel sağlamakta ve binaların iç mekan akustik konforunu iyileştirmeye yardımcı olmaktadır (Gao vd., 2024).

5.1.3. Asbest (Amyant)

Asbest, eski çağlardan beri bilinen lifli bir mineraldir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikleri arasında ısıya, aşınmaya, alkalilere ve asitlere karşı direnci ve esnekliği gibi özellikleri öne çıkar; bu da onu yalıtım, endüstriyel tekstil ve birçok diğer alanda kullanım için uygun bir malzeme haline getirmektedir (Abu-Shams, ve Pascal, 2005). Asbest esaslı yalıtım malzemeleri genellikle dayanıklılıklarını artırmak için çeşitli malzemelerle karıştırılmış asbest liflerinden oluşur. Bu levhalar sağlam ve dayanıklıdır, hem yalıtım hem de yangına dayanıklı bariyer görevi görürler. Malzemenin zorlu koşullardaki dayanıklılığı, özellikle inşaat ve endüstriyel uygulamalar için aranan bir malzeme olmuştur (URL-3). Asbest lifleri fibrillere ayrılır ve asla çürümezler, bu nedenle akciğerlere solunmaları halinde çok zararlıdır. Asbest liflerinin tüm formlarının kanserojen olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Asbest liflerinin tek ve daha iyi bir alternatifi olmamasına rağmen, asbest üretimi ve kullanımındaki sağlık riskleri nedeniyle alternatif malzemeler kullanılmaktadır (Nayak, 2016).

Asbest yalıtım levhası düşük yoğunluklu bir levhadır. Asbest yalıtım levhası (AIB), yaygın olarak bulunması ve üretiminin oldukça ucuz olması nedeniyle yalıtım amacıyla ve çeşitli inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yangına ve ısıya karşı iyi performans gösterir, ayrıca ses yalıtımında da etkilidir. Asbest yalıtım levhası, bölme duvarlarında, tavan panellerinde, saçaklarda ve banyo panellerinde kullanılmaktadır. Ayrıca asansör boşluğu kaplamalarında, çatı pencerelerine çıkan yükseltelerde, servis kanallarında ve tavan karolarında da kullanımı bulunmaktadır (URL-4).

5.2. Ahşap ve Ahşap Esaslı Kompozit Malzemeler

Ahşap ve ahşap esaslı malzemeler, yapılarda gürültünün kontrol altına alınmasında yaygın olarak kullanılan doğal ürünlerdendir. Ahşap, gözenekli yapısı nedeniyle ses yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Ses dalgası ahşabın gözeneklerine girdiğinde, sesin enerjisi azalmakta ve ses emilimi sağlanmaktadır (Wang vd., 2014). Ahşap malzemenin akustik açıdan en belirgin özelliği, özgül ağırlığının düşük olmasına rağmen ses malzeme içinden rahatlıkla geçebilmektedir. Ahşap malzemenin gözenekli yapısı sayesinde ses hem iletilebilmekte hem de sönmülebilmektedir. Bu nedenle ahşap, birçok yapı malzemesine kıyasla akustik özellikler bakımından avantajlıdır. Bu özelliği sayesinde müzik enstrümanlarının üretiminde tercih edilmekte; ayrıca konser ve tiyatro salonlarında uygun akustik ortamın sağlanması amacıyla duvar kaplaması olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı iç mekânlarında, özellikle salonlarda ahşap yüzey kaplamalar, ses dalgalarını düzenleme, sesi yutma ve duvarlardan

kaynaklanan olumsuz yankıları azaltma işlevi görmektedir. Bu durumu engellemek amacıyla duvarların kumaş, keçe, talaş veya lif levha gibi ses emici malzemelerle; ayrıca kontrplak ya da masif ahşap elemanlarla kaplanması mümkündür. Böylelikle ses dalgalarının bir bölümü absorbe edilerek ortamda daha dengeli bir akustik düzen sağlanmış olmaktadır. Ahşabın ses yutma kapasitesi; odunun anatomik yapısına, yoğunluğuna, yüzeyinin düzgün ya da pürüzlü oluşuna ve nem oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Lif yapısı düzensizleştikçe, yoğunluk arttıkça ve yüzey pürüzlülüğü ile nem ve sıcaklık yükseldikçe ses absorpsiyonu da artış göstermektedir. Gözenekli yapıya sahip, hava boşluğu oranı yüksek ve yüzeyi pürüzlü lif levhalar ise etkili bir ses emme performansı sunmaktadır (Berkel, 1970).

Kamış, Dünya genelinde yaygın olarak bulunan bir bitki türüdür. Düşük maliyetli, estetik açıdan çekici olması, temin edilmesinin ve montajının kolay olması gibi avantajları sayesinde farklı yapı sistemlerinde kullanılabilen ekolojik ve sürdürülebilir bir malzemedir. Yüksek mekanik dayanıma sahip olan ve duvar, tavan yapımı için estetik açıdan uygun olan akustik özelliklerinin iyi olduğu yalıtkan malzemedir. Kamış malzemeler ile yapılan akustik deneylerde kamış panellerinin ses absorpsiyonu araştırılmış ve kamış panellerin en iyi absorpsiyon değerlerini yüksek ve orta frekanslarda sağladığını belirlenmiştir (Díaz vd., 2010).

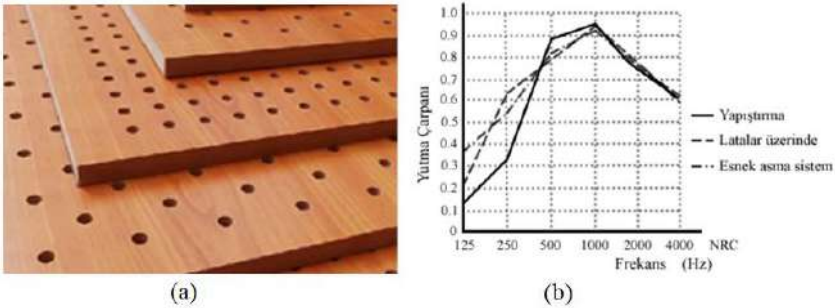
Konser salonlarında salonun akustiğini kullanılan ahşap akustik panel tasarımı, koltuklarda kullanılan kumaşın sesi absorbe etme durumu, salonun formu, sahne biçimi ve yüksekliği, ses kaynağı, dinleyici platformu eğimi gibi faktörler etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada, Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi (AASSM)'nin küçük salonu akustik performans bakımından analiz edilmiş ve mevcut ahşap akustik panellerin ses absorpsiyonundaki etkileri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde ahşap akustik panel uygulaması yapılmış salonun, panel uygulaması yapılmamış salona göre sesi absorbe etme özelliklerinde kayda değer bir farklılığın olduğu ortaya konmuştur (Işıқтаş ve Ay, 2016).

Mekanların akustik düzeninin sağlanması amacıyla farklı malzemeler ile ahşap talaşlarından üretilen kompozit malzemelerin kullanımına yönelik artan bir ilgi bulunmaktadır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada ahşap esaslı panel endüstrisinde kullanılan yöntem benzer bir yöntem kullanılarak, pirinç samanı ve ahşap talaşlarından yalıtım amaçlı kompozit levhalar üretilmiştir. Elde edilen levhaların akustik ölçümleri empedans tüpü yardımıyla belirlenmiştir. Deneyler sonunda pirinç samanı ile ahşap talaşlarının biraraya getirilmesi ile oluşturulan kompozit levhalarının, gürültüyü emmek ve iç mekan yaşam alanlarının

sıcaklığını korumak için uygun bir yalıtım malzemesi olduğu bildirilmiştir (Yang vd., 2003).

Bazı tropikal hızlı büyüyen ağaç türlerinden üretilen yonga levhaların akustik ses emme özelliklerini belirlemek için düşük ($0,5 \text{ gr/cm}^3$) ve orta yoğunluk ($0,8 \text{ gr/cm}^3$) değerlerine sahip deney örnekleri üzerinde empedans tüpü yardımıyla düşük ve yüksek frekans aralığında akustik ölçümler yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç olarak, düşük yoğunluklu yonga levhalar düşük frekansta, orta yoğunluklu yonga levhalar, yüksek frekansta daha iyi akustik performans ortaya koymuşlardır. Elde edilen yonga levhaların yapılarda akustik amaçlı kullanılabilirliği belirtilmiştir (Karlınasari vd., 2012).

Günümüzde çok amaçlı salonların ve geniş hacimli salonların akustik performansının sağlanmasında yüksek yoğunlukta lif levhalar (HDF) ve orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada 8 mm kalınlığa sahip MDF ve HDF panellerde akustik ölçümler yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bunun için 8 mm kalınlığındaki her iki lif levhada, deney örneklerinin karşılaştırılması için aynı işlemler uygulanmıştır. Panellerde kaplanmamış, PVC kaplanmış, Melamin reçineli dekor kağıdı kaplanmış ve yüksek basınç laminatı kaplanmış deney örnekleri kullanılmış ve ölçümler empedans tüpü yardımıyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda, iç mekân dekorunda kullanılan, farklı yüzey kaplama malzemeleri kaplanmış, 8 mm kalınlığındaki HDF, ve MDF levhaların mekânın akustik özellikleri üzerine önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir (Açık ve Tutuş, 2016).



Görsel 4. Delikli MDF akustik panel (URL-5), Düzenli aralarla delinmiş ahşap lif levhanın ortalama ses yutma çarpanı (Akt., Erol, 2006)

Hem kamusal alanlarda hem de kapalı alanlarda gürültü azaltma, çağdaş tasarım yöntemlerinin önemli bir yönünü oluşturmaktadır. Ses emilimi olmayan veya düşük olan malzemelerle tasarlanmış iç mekanlar, zayıf akustik özellikler göstermelerinden dolayı çalışma koşullarının bozulmasına katkıda bulunurlar. Bu

alanların akustik özellikleri, uygun ahşap esaslı malzemelerden tasarlanmış mobilyaların uygulanmasıyla iyileştirilebilir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin, kullanılan ahşap türüne, yoğunluğuna, kalınlığına, katman yapısına göre farklı seviyelerde ses emme yeteneklerinin olduğu ve bu sayede ses yalıtımı amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Smardzewski vd., 2015)

5.3. Ahşap Yün Paneller

Ahşap yünü, çeşitli ortamlarda gürültü azaltma için etkili ve uygun maliyetli odun lifi şeritleri veya telleri olan talaştan yapılan çevre dostu bir üründür. Ahşap yünü alçı ve sudan yapılmış levhalar 1880 yılında Almanya'da patentlenmiştir. 1910'lu yıllarda Avusturya'da bağlayıcı madde olarak magnezit kullanılan ahşap yünü levhaların üretimine başlanmıştır. Magnezit, alçıya göre daha iyi dayanıklılık sağlamaktadır. Portland çimentosu kullanılmaya başlanması ile avantajları sayesinde günümüzde en yaygın bağlayıcı maddede olarak kullanılmaktadır. Ahşap yünü levhalar için en yaygın kullanılan ağaç türü, çoğunlukla çam ve köknardır. Ahşap yünü levhalar için gerekli bileşenler ahşap yünü, bağlayıcı olarak Portland çimentosu ve sudur. Yalıtım amaçlı kullanılan levhalar nispeten daha kaba ağaç yününden üretilmektedir. Yoğunlukları kullanım amacına bağlı olarak 250-700 kg/m³ arasında değişmektedir. Isı yalıtım kapasitesi önemliyse düşük yoğunluklu, mukavemet önemliyse yüksek yoğunluklu üretilmektedirler. Öte yandan ses emilimi için kullanılan ağaç yünü levhalar genellikle daha ince ağaç yününden (1,5-3 mm) yapılıdır. Bu levhalar görünürdür ve genellikle estetik nedenlerle boyanırlar. Akustik levhalar genellikle 15– 50 mm arasında kalınlığa sahiptirler. Çimento ile birbirine bağlanmış ahşap liflerinden oluşan bu dayanıklı malzeme, mükemmel akustik özelliklere sahiptir. Özel makineler yardımıyla ahşap tomruklar, genellikle 1-2 mm kalınlığında ve birkaç santimetre uzunluğunda uzun ince şeritler halinde kesilerek parçalanır. Genel özellikleri arasında hafif olmaları, gözenekli bir yapıya sahip olmaları, yalıtım ve lif yapısının özellikleri sayesinde kullanımının kolay olması, biyobozunur olması öne çıkan özellikleri arasındadır. Üretim teknolojilerinin kolay olmasında dolayı farklı özelliklerde (renk, kalınlık, form, yoğunluk vb.) üretilebilme imkanları bulunmaktadır (Johansson, 1994, URL-6).



Görsel 5: Ahşap yün akustik panel örnekleri (URL-7)

5.4. Gözenekli Malzemeler

Diğer ses emici malzemelerde olduğu gibi gözenekli ses emici malzemeler, üzerlerine çarpan ses enerjisinin çoğunu emer ve bir kısmını yansıtır. Günümüzde çok çeşitli ses emici malzemeler olmakla beraber; bunların ses emme özellikleri frekansa, malzeme türüne, malzeme kalınlığına, yüzey işlemine ve montaj yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte, yüksek ses emme katsayısına sahip malzemeler genellikle gözenekli yapıdadır.

5.4.1. Poliüretan Köpükler

Poliüretan malzemenin kendisi belirli bir ses emme ve ses yalıtım etkisine sahip olup, iç ve dış mekan gürültüsünün iletimini etkili bir şekilde azaltabilmekteler. Poliüretan (PU) köpükler, otomotiv ve inşaat sektörlerinin yanı sıra tiyatrolar, ofisler ve kayıt stüdyoları gibi özel ortamlarda da uygulamaları olan, son derece etkili ses emiciler olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. Esnek poliüretan köpüklerde (FPUF), birbirine bağlı boşluklar, kanallar ve oyuklardan oluşan bir ağ, viskoz ve termal mekanizmalar yoluyla ses enerjisinin verimli bir şekilde dağılmasını teşvik etmektedir. Bununla birlikte, ağ yapısının derecesi, yani bitişik gözenekleri ayıran zarların varlığı veya çıkarılması, akustik davranış üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Masruri vd., 2025). Poliüretan köpüğün sesi emme yeteneği olağanüstüdür (Gwon vd., 2016), bu nedenle günümüzde kullanılan akustik köpük panellerin çoğu poliüretandan yapılmıştır. Bununla birlikte, akustik malzeme olarak kullanılan poliüretan köpük, gözenekli malzemeler geniş bantlı emilim frekanslarında ses emiliminde etkili olduğundan açık hücrelidir (Koizumi vd., 2002).



Görsel 6: Poliüretan köpük malzeme (URL-8)

Ayrıca, poliüretan köpüklerin uzun süreli kullanımı, vücut solunum sistemine kolayca solunabilen taş yününe kıyasla sağlık açısından daha az endişe vericidir (Chanlert ve Ruamcharoen, 2021).

Esneklikleri, işlenme kolaylıkları ve çok çeşitli dolgu maddeleriyle uyumlulukları, hibrit kompozit malzemelerin üretiminde temel olarak çekiciliklerini daha da artırmaktadır. Son yıllarda, akustik performansı artırmak için PU köpüklerine doğal lifler dahil edilerek akustik performanslarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu maksatla yapılan bir çalışmada farklı kalınlıklar ve değişen ağ boyutlarına bağlı olarak talaş takviyeli poliüretan (PU) köpüğün akustik, termal ve mekanik performansları, incelenmiştir. Deney sonuçlarında saf PU köpüklerle karşılaştırıldığında, talaşın varlığı gürültü azaltma katsayılarına (NRC) eşdeğer ve ses emilim ortalamalarını (SAA) yaklaşık %10 artırmaktadır. Numune kalınlığının artmasına bağlı olarak, düşük ve orta frekans aralıklarında ses emilim katsayısı (SAC) artmaktadır. Ayrıca daha ince parçacıklar, hava akışı direncini artırarak akustik verimliliği iyileştirmiştir. Daha ince elek boyutlarına sahip deney örneklerinin, konuşma ve yaygın iç mekan gürültü kaynakları için çok önemli olan 500 ila 2000 Hz arasındaki orta frekans aralığında daha iyi performans verdikleri belirlenmiştir (Masruri vd., 2025).

5.5. Doğal ve Çevre Dostu Ses Emici Malzemeler

Ses emilimi, hem insan sağlığına hem de vahşi yaşama zarar verebilecek gürültü kirliliğinin giderilmesinde çok önemli bir rol oynar. Bu çevresel sorunu ele almak için, doğal, çevre dostu, biyobozunur ses emici malzemelerin kullanımı son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir (Jang, 2023). Günümüzde çevresel kaygıların artması, geleneksel akustik malzemelere alternatif olabilecek çevre

dostu ahşap kompozitler ve diğer biyolojik bazlı kompozit çözümler üzerine ilgiyi daha da artırmıştır. Kenevir, buğday samanı ve pirinç kabuğu gibi tarımsal yan ürünler, yalıtım ve biyo-tuğlalar da dahil olmak üzere sürdürülebilir yapı malzemeleri oluşturmak için ahşap kompozitlerle birleştirme çalışmaları devam etmektedir (Ghisellini vd., 2024).

5.5.1. Miselyum Bazlı Kompozitler

Küresel ölçekte nüfus artmakta, buna karşılık olarak doğal kaynaklar hızla tükenmektedir. Ayrıca geleneksel yöntemlerle üretilen yapı malzemelerinin insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri daha görünür hale gelmektedir. Bu durum insan ve çevre dostu malzeme arayışına daha fazla odaklanmayı beraberinde getirmektedir. Son yıllarda inşaat sektörü önemli zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Bu sektörde geleneksel olarak kullanılan çimento, beton, metaller ve polimerler gibi ürünler, üretim sırasında genellikle yüksek enerji tüketimi, yüksek malzeme ve işleme maliyetleri, karmaşık ekipman ve tasarım ve ürün geliştirme için üretim altyapısı gerektirir, geri dönüşüm zorlukları yaratır ve çevre kirliliği sorunlarına yol açmaktadır (Alaneme vd., 2023; Parhizi vd., 2025).

Öte yandan, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerdeki artış, enerji talebi ve tüketiminde de artışa yol açmıştır. Bu durum, yenilenebilir olmayan enerji kaynakları üzerinde daha fazla baskıya ve rezervlerde önemli derecelerde bir azalmaya neden olmuştur (Yılmaz, 2012).

Ayrıca, küresel çapta nüfusun artmaya devam etmesi, tarımsal ürünlerin kullanımının artmasına yol açmakta ve bu da tarımsal atıkların çoğalmasına veya yan ürünlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu artık malzemelerin çoğu genellikle atılmakta veya yakılmakta, böylece atmosfere karbondioksit ve diğer zehirli gazlar ile birlikte partikül madde salınmaktadır. Bunlar kısmen kompostlama malzemesi, hayvan yemi, hayvan yatağı, yalıtım malzemesi ve yol yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Bhuvaneshwari vd., 2019; Defonseka, 2019).

Miselyum bazlı kompozitler adlarını, bir mantarın ipliksi kısmı olan miselyumdan alırlar. Bu liflerin ormancılık ve tarımdan elde edilen yan ürünler ve atık akışları gibi organik bir substrat üzerinde büyümesine izin verildiğinde, geniş bir özellik ve uygulama yelpazesine sahip önemli ve doğal bir biyokompozitin gelişmesine enden olur (Vandelook vd., 2021). Bu doğrultuda, miselyum bazlı kompozitler, mimari uygulamalar da dahil olmak üzere çok çeşitli tasarım ve üretim süreçleri için yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir alternatifler sunmaktadır (Ghazvinian vd., 2019). Miselyum bazlı kompozitler, tarımsal atıklar gibi organik malzemeler üzerinde ipliksi mantarların büyümesi sonucu oluşur. Bu yeni biyomalzemeler, hem sürdürülebilir üretim süreçleri hem

de döngüsel yaşam döngüsü açısından ürün tasarımı ve üretimi için umut vadeden bir alternatifi temsil etmektedir. Üretim sürecini değiştirerek miselyum malzemelerinin performansında farklılıklar elde edilebileceğini değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir ve yenilenebilir miselyum bazlı kompozit malzemeler, plastikler gibi petrol bazlı ürünlerin yerini alarak yeni ekonomiye katkıda bulunma potansiyeline sahiptirler. Bu biyolojik bazlı ürünler, ısı ve ses yalıtımı olarak kullanılabilir (Appels vd., 2019). Ayrıca düşük maliyetli üretimleri, yüksek akustik absorpsiyonları, düşük ısı iletkenlikleri ve yangına dayanıklılıkları nedeniyle miselyum bazlı kompozitler, termal ve akustik yalıtım panellerinin geliştirilmesinde umut verici malzemeler olabilir ve bu nedenle inşaat endüstrisinde faydalı uygulamalar bulabilir (Manan vd., 2021).

Miselyum bazlı kompozitler, ambalajlama, mimari tasarımlar, ses emilimi ve yalıtım dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için geliştirilen yenilikçi mühendislik malzemelerinden birisidir. Bu kompozitler, miselyumu doğal bir yapıştırıcı olarak kullanarak mantar miselyumunu organik alt tabakalarla birleştirir. Kompozitin kalitesi hem mantar türüne hem de substrata bağlıdır (Alemu vd., 2022).



Görsel 7: Ses emici miselyum paneller (URL-9).

5.5.2. Kenevir Lifi

Biyobozunur, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelere yönelik taleplerin artması, kenevir liflerinin kompozit yapılarda kullanımına yönelik talepleri artırmıştır. Kenevir lifleri, kenevir bitkinin gövdesinden elde edilen lifler olduğundan, genellikle güçlü ve sert yapıdadırlar ve bu da onları kompozit malzemelerde kullanılmak üzere uygun bir takviye malzemesi haline getirmektedir. Kenevir, çok uzun lif uzunluklarına sahip kaba bir kabuk lifidir, bu nedenle halat ve sicim yapımında kullanılır. Kenevir bitkisi, ılıman ve tropikal

ülkelerde ve genellikle büyük miktarlarda yetiştirilebilmesine rağmen anavatanı Hindistan ve İran'dır. Rusya, %33 'lük yetiştirme oranıyla kenevir lifi üretiminde sıralamanın en üst basamağındadır. Kenevir lifleri kuvvetli doğal liflerden birisidir. Sıcaklıktan çok etkilenmez ve yüksek sıcaklıklara dayanır (Oldham vd., 2011; Demirbek ve Bulut, 2021).

Başka bir çalışmada Atık kenevir liflerinin yüksek verimli ve yüksek değerli geri dönüşümünü gerçekleştirmek amacıyla atık kenevir lifinin ses emme mekanizması analiz edilmiş ve atık kenevir lifinin iyi ses emme performansının nedenleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Bunun için atık kenevir liflerinden hazırlanan deney örneklerinin akustik empedans transfer fonksiyonu testi kullanılarak akustik özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarında atık kenevir lifinin mükemmel yüksek frekanslı ses emme performansına sahip olduğu ve maksimum ses emme katsayısının 0,95 olduğu; atık kenevir lifi kompozitinin maksimum ses emme katsayısının ise 0,93'e ulaştığı tespit edilmiştir. Çalışmada, atık kenevir lifinin mükemmel ses emme özelliklerine sahip olduğu ve ses emme alanında yüksek uygulama değerine sahip olabileceği vurgulanmıştır (Zhang vd., 2022).



Görsel 8: Kenevir ses yalıtım paneli (URL-10)

5.5.3. Keten Lifi

Keten, iyi mekanik özelliklere sahip olmakla beraber en sık kullanılan biyofilik liflerden birisidir. Birçok liflere kıyasla üstün mekanik özelliklere sahip olmasının yanında, titreşim emme özellikleri de iyidir. Hafif ve düşük maliyetli doğal liflerin kullanımı, çok sayıda otomotiv ve inşaat uygulamasında cam ve diğer sentetik liflerin büyük bir bölümünün yerini alma potansiyeli sunmaktadır. Keten gibi doğal lifler, ağırlık ve maliyetteki azalma, geri dönüştürülebilirlik ve bu lif kaynaklarının yeşil veya çevre dostu olması gibi ek faydaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm doğal lifler arasında keten, iyi mekanik

özelliklere sahiptir (Rahman, 2021). Diğer özelliklerine göre daha az bilinse de, ses yalıtımı ketenin önemli bir özelliğidir. Ketenin uzun, esnek lifleri doğal şok emici görevi görerek ses dalgalarını emer ve yankılanmayı azaltır. Bu ses emme yeteneği, gürültü kontrolünün çok önemli olduğu uygulamalarda keteni önemli bir seçenek haline getirir. Kayıt stüdyoları, sinemalar veya modern ofisler gibi alanlarda akustik keten panellerin kullanımı giderek yaygınlaşıyor. Bu paneller, istenmeyen gürültüyü azaltmak ve ses ortamını iyileştirmek için zarif ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Keten panellerin iyi seviyelerde ses emici özelliği sayesinde, tüm mekanlarda gürültüyü, yankıyı veya rahatsız edici sesleri önemli ölçüde en aza indirilmektedir. Ketenin sadece yenilenebilir ve döngüsel olmakla kalmayıp aynı zamanda nemi de düzenleme yeteneği bulunmaktadır. Bu nedenle ketenden üretilen akustik paneller, gürültü emme kalitesini yeni bir seviyeye ulaştırmaktadır. Farklı ölçülerde ve formlarda üretilebilen bu paneller mekanların akustik düzeninin sağlanmasında önemli avantajlar sunmaktadır (URL-11; URL12).



Görsel 9: Keten akustik panel (URL-11)

Keten lifinin akustik özelliklere etkisini belirlemek için yapılan bir çalışmada, keten elyafı ile güçlendirilmiş akustik kompozit levhaların ses Emilimi ve titreşim sönümlenme özellikleri incelenmiş ve sesnetik esaslı cam elyaf takviyeli kompozitlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan kompozit panellerin akustik performansları empredans tütü yöntemiyle belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre keten elyaf takviyeli kompozitlerin ses emilim katsayısının, yüksek frekansta (2000 Hz) cam elyaf takviyeli kompozitlere göre %21,42 ve düşük frekansta (100 Hz) %25 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, keten lifi takviyeli kompozitlerin, cam lifi takviyeli kompozitlere göre %51,03 daha

yüksek titreşim sönümlene özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Prabhakaran vd., 2014).

5.5.4. Pamuk lifi

Pamuk ve yün gibi doğal lifler, lifli ve gözenekli yapıları nedeniyle mükemmel akustik özellikleriyle bilinmektedirler. Son yıllarda akustik sistemlerin tasarımında geliştirilmiş gürültü kontrolü, ağırlık azaltma, dayanıklılık ve tasarım çok yönlülüğü ekleyen geri dönüştürülmüş lif ürünleri gürültü kontrol özellikleri bakımından dikkatleri üzerine çekmektedir. Pamuk gibi doğal ürünlerinde akustik düzen amaçlı kullanımı giderek artmaktadır. Bu bakımdan geleneksel malzemelerle karşılaştırılabilir özelliklere sahip geri dönüştürülmüş pamuk lifinden yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Sakthivel vd., 2020).

Yapılan bir çalışmada, dokunmamış pamuk ve polilaktik asit elyaf ve kumaşların ses emici özellikleri analiz edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan dokunmamış numuneler, %100 pamuk ve %100 polilaktik asit liflerinden yapılmış olup, bunların hepsi doğal, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu liflerdir. Bu malzemelerden elde edilen deney örneklerinin akustik performansları empedans tüpü yardımıyla belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada dokunmamış malzemelerin ses emme özellikleri üzerinde lif tipi, lif boyutu, katmanlama sırası, lif kesiti, malzeme kalınlığı, yoğunluk, hava akışı direnci ve gözeneklilik gibi fiziksel unsurların, etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada çok katmanlı emicilerin, aynı kalınlıktaki tek katmanlı emicilere göre daha yüksek ses emilimi sağladığı gözlemlenmiştir (Ogunbowale vd., 2012).

Sürdürülebilir bir tasarım anlayışı için atık yönetiminin iyi planlanması gerekmektedir. Atık tekstil ürünlerinin kullanımı, yenilenebilir olmayan kaynak tüketimini ve çevre kirliliğini azaltabilir. Hem doğal hem de sentetik geri dönüştürülmüş lifler, sürdürülebilir yalıtım malzemelerinin üretiminde uygun seçeneklerdir (Zach vd., 2016). Pamuk, dünya çapında en yaygın kullanılan tekstil elyafıdır; bu nedenle, tekstil üretiminin tüm aşamalarında muazzam miktarda pamuk atığı oluşmaktadır. Başka bir çalışmada tekstil ve ambalaj atıkları bir araya getirilerek alternatif yalıtım malzemesi olarak kullanılmak üzere %100 geri dönüştürülmüş bileşenlerden kompozit paneller geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneyler ve ölçümler, ambalaj ve tekstil atıklarından gözenekli kompozit panellerin başarıyla üretildiğini ve bu panellerin ticari bina destek malzemelerine kıyasla benzer termal ve akustik yalıtım özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca deney örneklerinin hazırlanmasında atık malzemenin kullanımı enerji ve işçilik maliyetlerinde avantajlar sağlamaktadır (Sezgin vd., 2021).



Görsel 10: Pamuk bazlı akustik panel örnekleri (URL-13)

5.5.5. Sisal Lifi

Sisal lifi, en yaygın kullanılan doğal liflerden biridir ve yetiştirilmesi çok kolaydır. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 4,5 milyon ton sisal lifi üretilmektedir. Tanzanya ve Brezilya, başlıca üretim ülkeleridir. Sisal lifi, sisal bitkisinin yapraklarından elde edilen sert bir lifdir. Sisal liflerinin avantajları arasında neme ve ısıya karşı direncinin iyi olması ve kısa lifler plastik büzülmeyi geciktirerek erken yaşlarda çatlak oluşumunu kontrol altına alırlar. Gelişmekte olan ülkelerde sisal lifleri evlerde güçlendirici malzemesi olarak kullanılmaktadır (Abiola vd., 2014).

Sisal lifi özellikleri sayesinde farklı sektörlerde kullanılmakla birlikte inşaat sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Son çalışmalar sisal lifinin akustik malzeme olarak umut vadeden bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Geniş lif çapı dağılımı ve yüksek yüzey pürüzlülüğü, ses dalgaları ile lif yüzeyleri arasında sürtünme kayıplarını artırmayı kolaylaştırmaktadır (Meng vd., 2025). Başka bir çalışmada doğal liflerin gürültü kontrolü sağlaması bakımından geleneksel ürünlerin yerini alabileceği değerlendirilmektedir. Bu amaçla yapılan başka bir çalışma, da Silva vd., (2019), PVA ile bağlanmış sisal liflerinin 30 mm kalınlıkta 2 kHz'in üzerindeki frekans bandında 0,8'den büyük bir soğurma katsayısı sergilediğini bulmuşlardır.



Görsel 11: Sisal lifi panel (URL-14)

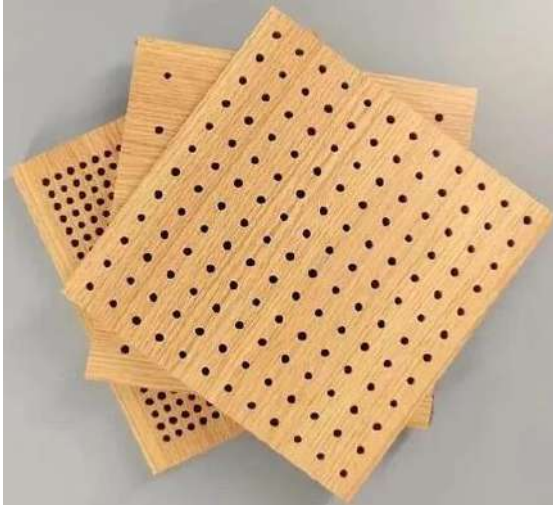
Günümüzde doğal lif takviyeli kompozitler sağlamış oldukları avantajları sayesinde tasarımcıların dikkatini çekmeyi başarmışlardır. Düşük yoğunluk, kolay işlenebilirlik, iyi özgül mekanik özellikler, bozunabilirlik ve düşük maliyet gibi özellikler, onları çeşitli endüstriyel sektörlerde aranan bir malzeme haline getirmiştir. Munde vd., (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, rastgele yönlendirilmiş sisal elyaf takviyeli polipropilen kompozitler, ekstrüzyon-enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılarak üretilmiş ve titreşim sönümlemesi ile akustik özellikler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Akustik özellikleri, yani ses emilim katsayısı ve iletim kaybını değerlendirmek için bir empedans tüpü kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, elyaf yüklemesindeki artışın polipropilen kompozitin titreşimsel ve akustik tepkisini önemli ölçüde değiştirdiğini, daha yüksek oranda lif eklenmesi ses emilim katsayısını ve iletim kaybını artırdığını, sönümlemeyi kötüleştirdiği bildirilmiştir.

5.5.6. Bambu Lifi

Bambu, doğal lif üretiminin kaynaklarından biri olarak, dünya çapında 1250'den fazla türüyle fazlaca küresel üretimiyle, odun ve pamuktan sonra üçüncü en büyük odun ve selüloz ürünleri kaynağıdır. Bambunun üstün mukavemeti ve hafifliği, mantar ve böcek saldırılarına karşı direnciyle birlikte, biyokompozit ürünler üretmek için potansiyel bir alternatif hammadde olduğunu göstermektedir. Son yıllarda bambu liflerinin akustik özellikleri üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır (Irvani vd., 2024).

Yapılan bir çalışmada, lamine bambu (glubam) ve ladin-çam-köknar (SPF) malzemelerinin ses azaltma indeksi ve emilim katsayıları empedans tüpü yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Bu malzemelerin akustik performansı üzerindeki nem içeriğinin etkisi de araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, kalın şeritli glubam ve SPF için, nem içeriği arttıkça ses azaltma indeksinin daha yüksek ancak ses emilim katsayısının daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Diğer malzemelerle

karşılaştırıldığında, glubam ve SPF'nin nispeten yüksek normal doğrultuda iletim kaybına, ancak düşük emilim katsayısına ve gürültü azaltma katsayısına sahip olduğu ortaya konmuştur (Kong vd., 2023). Benzer bir çalışmada, çevre koruma amaçlı yeni bir akustik malzeme geliştirilmiş amaçıyla, ses emici malzeme üretmek için doğal bir kaynak olan bambu lifi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, bambu lifi malzemesinin normal geliş açılı ses emilim katsayısı, kalınlık, hava boşluğu derinliği, yoğunluk ve bambu lifi çapının etkileri empedans tüpü kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmada deney örneklerinin karakteristik empedansı ve yayılım sabiti ölçülmüştür. Deneylerden sonra yapılan analizlerde bambu lifinin cam yününe eşdeğer akustik özelliklere sahip olduğu, ses emilim katsayısının, yoğunluk artışıyla birlikte artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, bambu lifi malzemesinin yüzey malzemesini oluşturmak için bambu lifi kullanılarak bir lif levha yapılmış ve aynı yoğunluktaki kontrplak ile karşılaştırılmıştır. Bambu lif levhanın ve rezonans tipi bambu lif levhanın ses emilim katsayısının, özellikle yüksek frekans aralığında, üstün olduğu bulunmuştur (Koizumi vd., 2002).



Görsel 11: Bambu akustik panel (URL-15).

Çevre dostu bir gürültü engelleyici bir sistem geliştirmek için yapılan çalışmada, atık lastiklerden elde edilen kauçuk kırıntısı ve poliüretan bağlayıcı kullanılarak üretilen Bari bambu kompozitlerinin ses emme özellikleri analiz edilmiştir. Bambu ağacının farklı bölgelerinden elde edilen deney örnekleri üzerinde empedans tüpü ile akustik özelliklerini değerlendirmektedir. Sonuçlar, düğüm diyaframlı bambu panellerin 960 Hz'nin altındaki frekanslarda 0,9'un üzerinde bir SAC tepe noktasına ulaştığını göstermektedir. Kauçuk kırıntısının

eklenmesi, düşük frekanslarda ses emilimini önemli ölçüde iyileştirirken, hava boşlukları SAC tepe noktasını daha da düşük frekanslara kaydırmaktadır. Çalışma, kauçuk kırıntısı ile güçlendirilmiş Bari bambusu kompozitlerinin, sentetik ses emici malzemelere sürdürülebilir ve etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir. En yüksek SAC değerleri, gelişmiş ses emme performansı sergileyen düğüm diyaframı ve konsolide kauçuk kırıntılı panellerden elde edilmiştir. Çalışma bari bambusu gibi doğal, biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerin atık kaynaklı kauçuk kırıntılarıyla birleştirilerek ses emme uygulamalarında kullanılmasının potansiyelini vurgulayarak, gürültü kontrolü için çevre dostu bir çözüm sunmaktadır (Kumar vd., 2025).

5.5.7. Pirinç Samanı ve Kabuğu

Günümüzde pirinç samanının büyük çoğunluğu Asya'da üretilmektedir. Diğer tarımsal biyolojik atıklarla (örneğin odun parçaları ve mısır sapı) karşılaştırıldığında, pirinç kabukları, kabukların kendilerinin düşük kullanım değerine ve çoğunlukla silika olan küllerinin yüksek kullanım değerine sahip olmasıyla bilinmektedir. Pirinç kabukları esas olarak lignin, selüloz, hemiselüloz, SiO₂ ve az miktarda metal oksitten oluşmaktadır (Wang vd., 2016). Pirinç kabukları genellikle yakılır veya sadece ısı yalıtım malzemeleri, polimer kompozitler ve beton kompozitler gibi düşük maliyetli uygulamalar için geri dönüştürülerek üretime dahil edilmektedirler (António vd., 2018).

Pirinç samanının ve kabukları gürültü kirliliğini engellemede akustik performansları üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Pirinç samanının akustik performanslarının belirlenmesi için transfer fonksiyonu yöntemi ve yankı odası yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada malzeme kalınlığına bağlı olarak akustik performansın değişmekle birlikte iki yöntemin ses emme katsayıları (α) nispeten benzer değerler vermiştir. Her iki yöntem de pirinç samanı deney örneklerinin, benzer gürültü azaltma katsayıları verdiği belirlenmiştir. Gürültü azaltma katsayısı yaklaşık 0,8 olup, örneklerin yüksek ses emme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir (Kang vd., 2018). Benzer bir çalışmada, Yang vd., (2003), ahşap esaslı panel endüstrisinde kullanılan yöntemle benzer, pirinç samanı ve ticari ahşap parçacıklarının birleştirilmesi ile yalıtım amaçlı kompozit levhalar üretmişler ve kompozit malzemelerin ses emme özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak panellerdeki pirinç samanı içeriği arttıkça, pirinç samanı kompozit levhanın ses emme katsayısının (α) diğer odun bazı malzemelerin (lif levha ve kontrplak) ses emme katsayısından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca pirinç samanı parçacık levhanın kalınlığına bağlı olarak ses emme katsayısının (α) düşük frekanslarda arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmalar, pirinç

samanının diğer doğal malzemelere göre ses emici kompozit malzeme olarak daha kullanışlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Pirinç kabuklarının akustik performansını belirlemek için yapılan bir çalışmada, Wang vd., (2019), pirinç kabuğu ilavesi ile poliüretan köpüğünün bir araya getirilerek üretilen kompozit malzemelerin akustik özelliklerini incelemişlerdir. Poliüretan levha üretiminde %2, %5 ve %8 pirinç kabuğu eklenmiş ve pirinç kabuğunun akustik parametreler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak %5 oranında kabuk içeren bir poliüretan-pirinç kabuğu karışımının en iyi ses emme performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Pirinç kabuğunun, elde edilen poliüretan köpüğünün gözenek boyutu ve gözenek boyutu dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, bunun da akış direncinde azalmaya ve ses emme performansında iyileşmeye yol açtığı, sonuç olarak bu da iyileştirilmiş ses emiliminin pirinç kabuğu ilavesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Benzer bir çalışmada pirinç kabuklarından üretilen kompozit levhaların, mekanik, termal ve akustik performansları analiz edilmiştir. Çalışmada, pirinç kabuğu, %50/%50 ve %75/%25 (ağırlıkça) oranlarında geliştirilmiş mantar granülleri veya geri dönüştürülmüş kauçuk granülleri ile karıştırılmıştır. Sonuç olarak, enleştirilmiş mantar granülleri ile ilgili olarak, %50 pirinç kabuğu içeren kompozit için NRC 0,15 ve %75 pirinç kabuğu için 0,25 olarak belirlenmiştir. Geri dönüştürülmüş kauçuk granülleri için, NRC sırasıyla %50 ve %75 pirinç kabuğu için 0,35 ve 0,45 olarak belirlenmiştir. Deney örneklerindeki pirinç kabuğu miktarı artıkça, ses emme performansı artmıştır (António vd., 2018).

6. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde insanoğlunun yaşamının çoğu kapalı mekanlarda geçmektedir. Gürültü en kısa tanımla istenmeyen ses olarak tanımlanabilir. İç mekanda insanı rahatsız edecek çevresel gürültüler olabileceği gibi yaşam alanlarından kaynaklanan ve komşudan kaynaklanan farklı gürültü tipleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatıldığı üzere gürültünün insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır. Gürültünün zararlı etkilerinden korunabilmek için temelde 3 farklı yol izlenmektedir. Bunlardan ilki gürültünün kaynağında kontrol edilmesidir. İkincisi gürültünün kaynak ile alıcı arasında kontrol edilmesi ve sonuncusu ise gürültünün gürültüye maruz kalan kişide kontrol altına alınmasıdır.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 65 dB'nin üzerindeki gürültüyü gürültü kirliliği olarak tanımlamaktadır. DSÖ'ye göre, uzun süreli veya aşırı gürültüye maruz kalmanın işitme kaybı, stres, konsantrasyon bozukluğu, iletişim ve verimlilik sorunlarından uyku bozukluğu ve kardiyovasküler hastalıklara kadar çeşitli sağlık sorunlarına neden olduğu bildirilmektedir. Ayrıca konutlardaki iç mekan

gürültü kılavuz değerleri 30 dBA civarındadır. Tipik koşullar altında, kabul edilebilir gürültü seviyesi 40 ile 60 desibel arasında değişmektedir (Gümüş Battal, ve Parlakyıldız Köse, 2025). Kullanılan mekanın işlev özelliklerine göre gürültü seviyelerindeki toleranslar farklılık gösterebilmektedir.

Yapıların gürültü kirliliğinden etkilenmemesi için daha tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu anlamda yapının konumu, yönü ve gürültü kaynaklarına uzaklığı önemli parametrelerdendir. Bununla ilgili Türkiye’de gerekli düzenlemeler ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği Açıklama Ve Uygulama Kılavuzu; 31/05/2017 tarihli ve 30082 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan; Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik ile 31/05/2018 tarihli ve 30437 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik işleyişlerini açıklamak ve uygulama süreçlerini vermek üzere mimarların, akustik uzmanların, bina sistemlerini tasarlayan ve uygulayan mühendislerin kullanımına yönelik olarak hazırlanmıştır (URL-16).

Yukarıda belirtildiği üzere gürültünün insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler ses türü, cinsiyet, yaş gibi faktörlere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Gürültünün en tipik rahatsızlıklarından birisi kişinin işitme duyusunu bir süreliğine veya tamamen kaybetmesidir. Daha önceki çalışmalar, aşırı gürültüye maruz kalmanın kalp hastalığı riskini artırdığını, uyku düzenini bozabileceğini, konsantrasyonu azaltabileceği ve hatta bazı kişilerde kaygı, okul çocuklarında bilişsel performansı bozduğunu, iş yerlerinde çalışanların iş performansında düşüslere ve depresyona yol açabileceğini ortaya koymaktadır.

İnsan sağlığını olumsuz etkileyen gürültünün kontrol edilebilmesinde aktif ve pasif sistemler olmak üzere farklı stratejiler izlenmektedir. Pasif gürültü kontrolü (PNC) yöntemi, esas olarak ses ve malzemeler arasındaki etkileşimi kullanarak titreşim emilimi, ses emilimi ve sönümleme malzemeleriyle ses yalıtımı yoluyla gürültüyü azaltır. Her ne kadar etkili olsa bile belirli frekans aralıklarındaki gürültüler için yeterli olmayabilir. Bu durumlar için Aktif gürültü kontrol sistemi bir alternatif olabilir. Aktif gürültü kontrolü (ANC) yöntemi, ortam gürültüsünü aktif olarak analiz ederek, bu gürültüyü sönümlemek için karşı fazda bir ses dalgası üretir (Karşıyaka vd., 2024). İç mekanda gürültünün yayılmasının kontrol altına alınmasında en önemli yöntemlerden biri de iç mekanda ses emici malzemelerin tasarlanmasıdır. Ses dalgası bir malzeme yüzeyine ulaştığı zaman bir kısmı yansır, bir kısmı malzemeden geçer, geri kalanı ise malzemeye aktarılır.

Yapılardaki gürültü kirliliği, ses yalıtımı veya ses emici malzemeler kullanılarak kontrol altına alınabilir. Uzun yıllardır, sentetik lifli malzemeler, düşük maliyetleri ve orta ve yüksek frekanslardaki performansları nedeniyle yaygın olarak ses emici uygulamalar olarak kullanılmışlardır. Sentetik akustik malzemeler arasında cam

yünü, taş yünü ve poliüretan köpüklerin akustik performans özellikleri iyidir. Fakat bazı sentetik malzemelerin üretim süreçleri enerji yoğun ve biyolojik olarak parçalanamaz olduğundan, önemli çevresel riskler ve insan sağlığı için potansiyel tehlikeler oluşturmaktadır.

Son yıllarda düşük yoğunluklu, kolay işlenebilir, çevre dostu, düşük maliyetli ve biyobozunur olmaları nedeniyle doğal ve çevre dostu ses emici malzemelere olan ilgi artmıştır. Doğal lifler, gürültünün kontrol altına alınmasında bu malzemelerin yerine geçebilecek önemli bir alternatif olabilirler.

Günümüzde yapı sektöründe gürültü kontrolü alanında önemli bir noktalara gelmiş çevre dostu ve organik lifler şeklinde birçok farklı ses emici malzeme bulunmaktadır ve bunlar geleneksel ses emicilerde kullanılan cam ve mineral yün liflerinin doğrudan yerine geçebilecek potansiyele sahiptirler. Ses emilimlerinin odaklanıldığı malzemelerinden bazıları cam yünü, taş yünü, asbest, ahşap ve ahşap esaslı kompozitler, ahşap yün paneller, poliüretan köpükler, miselyum bazlı kompozitler, kenevir lifi, keten lifi, pamuk lifi, sisal lifi, bambu lifi, pirinç samanı ve kabuğu olarak değerlendirilmektedir. Bunlar dışında sektörde kullanılan ses emme yeteneğinin ön planda olduğu koyun yünü, Hindistan cevizi lifi, çay lifi, bazı mevsimsel tarım atıkları (buğday samanı, ay çiçek sapları, muz kabukları) rami bitkisi, şeker kamışı, jüt gibi bazı doğal malzemeler de bulunmaktadır (Oldham vd., 2011; Berardi and Iannace, 2017; da Silva vd., 2019; Jang, 2023)

Gelecek çalışmalarda çevre dostu ve insan sağlığına saygılı, ses emilim malzemelerin geliştirilmesi yönelik çabaların artırılması önemlidir. Küresel sıcaklığın daha fazla arttığı günümüzde, daha fazla enerji kullanan, çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri olan ses emici ve akustik düzenleyici malzemeler yerine alternatif doğal ve biyobozunur malzemelerin üretimi ve kullanımını teşvik edilmelidir. Üretilen bu malzemelerin ses yutum özelliklerinin daha fazla geliştirilebilmesi için alternatif üretim teknolojilerinin geliştirilmesi önemli olabilir. Üretimde nano malzeme kullanımının daha fazla analiz edilmesi, bu malzemelerdeki ses emme performans gelişimi açısından değerlendirilebilir. Doğal ve sentetik liflerin bir arada üretilmesine ve özelliklerinin geliştirilmesine daha fazla odaklanılabilir. Üretilen malzemelerin yangın dayanımının, mekanik dirençlerinin ve akustik performanslarının aynı oranda geliştirilmesine yönelik optimizasyon sağlanabilir. Ses emici malzemelerin kullanım ve yaşlanmaya bağlı performans kayıplarının engellenmesine yönelik daha fazla çözüm önerileri geliştirilebilir. Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda, karbon ayak izinin azaltılabilmesi için, akustik özelliklerin geliştirilmesi, enerji tüketimi ve geri dönüşüm özelliklerinin optimizasyonu sağlanabilir.

Referanslar

- Abiola, O. S., Kupolati, W. K., Sadiku, E. R., & Ndambuki, J. M. (2014). Utilisation of Natural Fibre as Modifier in Bituminous Mixes: A Review. *Construction and Building Materials*, 54, 305-312.
- Abu-Shams, K., & Pascal, I. (2005). Asbestos: Characteristics, Properties, Pathogenesis and Sources of Exposure. *Anales Del Sistema Sanitario De Navarra*, 28, 7-11.
- Açık C., & Tutuş A., (2016). Çok Amaçlı Salon İç Mimarisinde Kullanılan, Farklı Yüzey Kaplamalı Lif Levhaların Akustik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(1) 11-20.
- Akıncı, H., (2007). *Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Al Horr, Y., Arif, M., Kafatygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, & A., Elsarrag, E., (2016). Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-Being and Comfort: A Review of the Literature, 2016, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 1-11.
- Alaneme, K. K., Anaele, J. U., Oke, T. M., Kareem, S. A., Adediran, M., Ajibuwa, O. A., & Anabaranze, Y. O. (2023). Mycelium Based Composites: A Review of Their Bio-Fabrication Procedures, Material Properties and Potential for Green Building and Construction Applications. *Alexandria Engineering Journal*, 83, 234-250.
- Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A. K. (2022). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. *International Journal of Biomaterials*, 2022(1), 8401528.
- Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T. W., Durairaj, R., Hamid, H. S. H. B. (2017). A Review: Characteristics of Noise Absorption Material. *Journal of Physics: Conference Series*, 908, 012005, IOP Publishing.
- Andargie, M. S., Touchie, M., & O'Brien, W. (2020). A Survey of Factors That Impact Noise Exposure and Acoustic Comfort in Multi-Unit Residential Buildings. *Canadian Acoustics*, 48(3), 25-42.
- António, J., Tadeu, A., Marques, B., Almeida, J.A., & Pinto, V. (2018). Application of Rice Husk in the Development of New Composite Boards. *Construction and Building Materials*. 176, 432–439.
- Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B, Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication Factors Influencing Mechanical, Moisture- and Water-Related Properties of Mycelium-Based Composites. *Materials & Design*, 161, 64-71.

- Aram, E., & Mehdipour-Ataei, S. (2016). A Review on the Micro- and Nanoporous Polymeric Foams: Preparation and Properties. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 65(7), 358–375.
- Aygün, H. (2017). Characterization of Acoustical Properties of Felt and Carpet Made of Natural and Environmentally Friendly Materials. *Open Journal of Acoustics*, 7, 27–38.
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and Non-Auditory Effects of Noise on Health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332.
- Bayazıt, N. T. & Aşçıgil, M. (2007). Sağlıklı ve Yaşanabilir Çevreler İçin Akustiğin Önemi. Tesisat Mühendisliği, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.
- Berardi, U., & Iannace, G. (2017). Predicting the Sound Absorption of Natural Materials: Best-Fit Inverse Laws for the Acoustic Impedance and the Propagation Constant. *Applied Acoustics*, 115, 131-138.
- Berkel, A. (1970). *Ağaç Malzeme Teknolojisi*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayını, 412-420. İstanbul.
- Bhuvaneshwari, S., Hettiarachchi, H., & Meegoda, J.N. (2019). Crop residue burning in India: Policy challenges and potential solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5) 832.
- Bolt, B.H., Lukasik, S.J., Nolle, A.W. & Frost, A.D. (1952). *Handbook of Acoustic Noise Control – Volume I: Physical Acoustics*. United States Air Force, Ohio.
- Chanlert, P., & Ruamcharoen, P. (2021). Sound Absorption Properties of Rigid Polyurethane Foam Composites with Rubber-Wood Sawdust as a Natural Filler. *Journal of Physics: Conference Series*, 1719, 012062.
- Chen, Y., Wang, J., Wu, J., Li, Y., Lu, J., & Zhang, L. (2026). The Impact of Residential Neighbor Noise on Cognitive Health in Chinese Cities. *Building and Environment*, 287, 113901.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, (2010). Resmî Gazete, 4 Haziran 2010, Sayı : 27601, (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100604-5.htm> (Erişim Tarihi 05.02.2026)).
- da Silva, C.C.B., Terashima, F.J.H., Barbieri, N., & de Lima, K.F.(2019). Sound Absorption Coefficient Assessment of Sisal, Coconut Husk and Sugar Cane Fibers for Low Frequencies Based on Three Different Methods, *Applied Acoustics*, 156 (2019) 92–100.

- Danish, A., & Ozbakkaloglu, T. (2023). *Fiber Classifications and Physical and Mechanical Properties of Different Fibers Used in Alkali-Activated Composites*. In *Advanced Fiber-Reinforced Alkali-Activated Composites*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 23–58.
- Defonseka, C. (2019). *Polymeric Composites with Rice Hulls: An Introduction*; 2 nd Edition, Walter de Gruyter GmbH, Berlin, 2019.
- Demirbek, D., & Bulut, M. O. (2021). Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri ve Kompozit Uygulama Alanları, *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(2), 176-191.
- Demirkale, S. Y. (2007). *Çevre ve Yapı Akustiği: Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Díaz, C., Jiménez, M., Navacerrada, M. Á., & Pedrero, A. (2010). Acoustic Properties of Reed Panels. *Materiales de Construcción*, 305 (62), 55-66.
- Erol, H. B., (2006). *İç Mekanda Malzeme Kullanımında Akustik Performans Kriterleri*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Farooqi, Z. U. R., Ahmad, I., Ditta, A., Ilic, P., Amin, M., Naveed, A. B., & Gulzar, A. (2022). Types, Sources, Socioeconomic Impacts, and Control Strategies of Environmental Noise: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(54), 81087-81111.
- Fiala, L., Konrád, P., & Černý, R. (2019). Methods for Determination of Acoustic Properties of Building Materials, *MATEC Web of Conferences* 282, 02061.
- Gamal, M. (2025). Internal Acoustics: Effective Noise Mitigation Techniques in Architecture. <https://www.archdaily.com/1029581/internal-acoustics-effective-noise-mitigation-techniques-in-architecture> (13.02.2025).
- Gannouni, N., Wang, J., Rhouma, K. B., & Mhamdi, A. (2024). Human Health Effects Associated with Occupational and Environmental Acoustic Trauma. *Health Sciences Review*, 12, 100181.
- Gao, X., Bai, Z., Zhu, Y., Long, M., & Yin, J. (2024). Study on the Sound Insulation Performance of Sandwich Lightweight Partition Wall Panels. *World Journal of Materials Science*, 2(2) 30-34.
- George, N. V., & Panda, G. (2013). Advances in Active Noise Control: A Survey, with Emphasis on Recent Nonlinear Techniques. *Signal Processing*, 93(2), 363–377.
- Ghazvinian, A., Farrokhsiar, P., Vieira, F., Pecchia, J., & Gursoy, B. (2019). Mycelium-Based Bio-Composites for Architecture: Assessing the Effects of Cultivation Factors on Compressive Strength. *Material Studies And Innovation*, 2, 505-514.

- Ghisellini, P., Quinto, I., Passaro, R., & Ulgiati, S. (2024). Bio-Based Products for a More Sustainable Construction Sector. Technical, Environmental and Social Performances and Impacts. *Procedia Struct. Integr.* 64, 1689–1695.
- Grimwood, C. (1997). Complaints About Poor Sound Insulation Between Dwellings in England and Wales, *Applied Acoustics*, 52, No. 3/4, 211-223.
- Gümüş Battal, İ. & Parlakyıldız Köse, İ. S. (2025). Analysis of Ergonomic Parameters in Architectural Design Studios: A Case Study of Bursa Technical University. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 10(1), 15-29.
- Gwon, J. G., Kim, S. K., & Kim, J. H. (2016). Sound Absorption Behavior of Flexible Polyurethane Foams with Distinct Cellular Structures. *Materials & Design*, 89, 448–454.
- Irvani, H., Mahabadi, H. A., Khavanin, A., & Variani, A. S. (2024). Determining the Sound Absorption Coefficient of Bamboo Composites: Theoretical- and Laboratory-Based Approaches. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 13(6), 22.
- Işık, E. S., (2023). *Konutlarda Gürültü Denetiminde Yapı Kabuğunda Alınması Gereken Önlemlerin Bir Alan Çalışması Kapsamında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Işıқтаş, K., & Ay, N. (2016). Ahşap Akustik Panellerin Sesi Absorbe Etme Yeteneği ile İç ve Dış Ortamlardaki Ses Yalıtımının İyileştirilmesi. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 5(1), 16- 21.
- İnce, A., & Demirel, F. (2023). Noise Control in Residential Buildings in the Context of National Regulation and an Example. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 11(4), 785-797.
- Jang, E. S. (2023). Sound Absorbing Properties of Selected Green Material-A Review. *Forests*, 14(7), 1366, 1-20.
- Jariwala, H. J., Syed, H. S., Pandya, M. J., & Gajera, Y. M. (2017). Noise Pollution & Human Health: A Review, *Indoor Built Environ*, 1, 1–4.
- Jensen, H. A. R., Rasmussen, B., & Ekholm, O. (2019). Neighbour Noise Annoyance is Associated with Various Mental and Physical Health Symptoms: Results from a Nationwide Study Among Individuals Living in Multi-Storey Housing. *BMC Public Health*, 19(1), 1508, 1-10.
- Johansson, E. (1994). Woodwool Slabs – Manufacture, Properties and Use. *Building Issues* 6(3), 3-26.
- Jung, S., Kang, H., Choi, J., Hong, T., Park, H. S., & Lee, D.-E. (2020). Quantitative Health Impact Assessment of Construction Noise Exposure

- on the Nearby Region for Noise Barrier Optimization. *Building and Environment*, 176, 1–13, 106869.
- Kajikawa, Y., Gan, W. S., & Kuo, S. M. (2012). Recent Advances on Active Noise Control: Open Issues and Innovative Applications. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 1, e3, 1-21.
- Kang, C. W., Jang, E. S., Jang, S. S., Cho, J. I., & Kim, N. H. (2019). Effect of Heat Treatment on the Gas Permeability, Sound Absorption Coefficient, and Sound Transmission Loss of *Paulownia Tomentosa* Wood, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 47(5), 644-654.
- Kang, C.-W., Jang, E.-S., Jang, S.-S., & Kang, H.-Y. (2018). Comparison of Transfer Function Method and Reverberation Room Method in Measuring the Sound Absorption Coefficient of Rice Straw Particle Mat. *J. Korean Wood Sci. Technol.* 46, 362–367.
- Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Martiandi, B., & Hadi, Y.S (2012). Development of Particleboard From Tropical Fast-Growing Species for Acoustic Panel. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 64-69.
- Karşıyaka, H., Maden, Ö. F., & Dirik, A. E. (2024). Aktif Gürültü Kontrolü (ANC) Sisteminde Mikrofon ile Hoparlör Arasındaki Mesafenin Sistem Başarısına Etkisi. In *2024 15th National Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Türkiye, 1-5.
- Kim, B. S., Kwon, S., Jeong, S., & Park, J. (2019). Semi-Active Control of Smart Porous Structure for Sound Absorption Enhancement. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 30(17), 2575-2580.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., & Adachi, A. (2002). The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers. *WIT Transactions on The Built Environment*, 59, 157-166.
- Kong, Y., Wen, J., Huang, A., Zhou, L., & Xiao, Y. (2023). Acoustic Properties of Glued Laminated Bamboo and Spruce-Pine-Fir. *Wood Material Science & Engineering*, 18(5), 1765-1779.
- Kumar, R., Saha, A., Biswas, N., Singh, G., Beemkumar, N., Kumar, A. V., Bhowmik, A., & Bhattacharjee, B. (2025). Sound Absorption Properties of Natural Bari Bamboo Composite. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 240(2).
- Lee, J-K., Kim, J., Rhee, C-J., Jo, C-H., Choi, S-B. (2002). Noise Reduction of Passive and Active Hybrid Panels. *Smart Materials and Structures*. 11(6), 940–946.
- Lu, G. (2020). Study on the Properties of Rock Wool for External Thermal Insulation of Buildings Under the Soaking and Hot & Humid Conditions.

- In *Journal of Physics: Conference Series*, 1622 (2020) 012006. IOP Publishing.
- Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and Applications of Fungal Myceliumbased Advanced Functional Materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1): 1-10.
- Mariam, A., & Mohammadreza, A. (2015). Noise Mitigation in Buildings Using Sound Absorbing Materials, *Noise Theory Practice*, 1, 12–16.
- Maschke, C., & Niemann, H. (2007). Health Effects of Annoyance Induced by Neighbour Noise. *Noise Control Eng J.*, 55(3), 348–356.
- Masruri, B., Taban, E., Khavanin, A., & Attenborough, K. (2025). Sound Absorption and Thermal Insulation by Polyurethane Foams Reinforced with Bio-Based Lignocellulosic Fillers: Data and Modeling. *Buildings*, 15(19), 3590.1-29.
- Meng, T., Li, F., Li, J., Liu, D., Liu, Q., Gong, X., Li, J., Peng, S., Ji, M., & Man, J. (2025). Tunable Starch/Sisal Fiber Porous Composites for Broadband Acoustic Absorption: Experimental Design, JCA Modeling, and Sustainable Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 321, 146411.1-15.
- Munde, Y. S., Ingle, R. B., & Siva, I. (2019). Vibration Damping and Acoustic Characteristics of Sisal Fibre–Reinforced Polypropylene Composite. *Noise & Vibration Worldwide*, 50(1), 13-21.
- Murphy, E., & King, E., (2014). *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy*. Amsterdam: Elseiver.
- Muslu, M.S., & Sönmez, A., (2017). İç Dekorasyonda Kullanılan Sapsız Meşe (*Quercus Petraea* L.) ve Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Ağaçlarında Kesiş Yönü ve Su Bazlı Vernik Türünün Ses Geçiş Kaybına Etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 338-344.
- Nayak, L., (2016). The Mineral Fibre: Asbestos - Its Manufacture, Properties, Toxic Effects and Substitutes, *Nature Environment and Pollution Technology* 15(2), 477-482.
- Neitzel, R. L., Heikkinen, M. S. A., Williams, C. C., Viet, S. M., & Dellarco, M. (2015). Pilot Study of Methods and Equipment for in-Home Noise Level Measurements. *Appl Acoust*, 102, 1–11.
- Ogunbowale, W. O., Banks-lee, P., Bello, K. A., Maiwada, S., & Kolawole, E. G. (2012). Acoustical Absorptive Properties of Cotton, Polylactic Acid Batts and Fabrics. *American International Journal of Contemporary Research*, 2(11), 106-114.
- Oldham, D. J, Egan, C.A., & Cookson, R. D. (2011). Sustainable Acoustic Absorbers from the Biomass. *Applied Acoustic*, 72(6), 350–363.

- Onay, B., Mazlum, S., Okuyucu, Ş. E., Mazlum, F., & Çiftçi, M. (2025). The Effect of Noise Level in Design Studios on Students. *Buildings*, 15(24), 4518.
- Özbek, U. (2022). *İç Mekanda Akustik Malzeme Olarak Geri Dönüştürülebilir Atıkların Kullanılması ve Kompozit Oluşturan Malzemeler Üzerinden Deneysel Bir Değerlendirme*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özçetin, Z., Demirel, F., & Eminel, M. (2018). Eğitim Yapıları Özelinde Akustik Konfora Yönelik Uygulama Örneği. *Social Science Development Journal*, 3(12), 468-475.
- Özdil, N., Özçelik Kayseri, G., & Süpüren Mengüç, G. (2020). Investigation of Sound Absorption Characteristics of Textile Materials Produced From Recycled Fibers, In: *Waste in Textile and Leather Sectors*, Intech Open, London, UK, 1-20.
- Parhizi, Z., Dearnaley, J., Kauter, K., Mikkelsen, D., Pal, P., Shelley, T., & Burey, P. (2025). The Fungus Among Us: Innovations and Applications of Mycelium-Based Composites. *Journal of Fungi*, 11(8), 549.
- Park, S. H., & Lee, P. J. (2025). Effects of Noise on Health-Related Quality of Life: The Roles of Outdoor Noise, Indoor Noise, and Noise Sensitivity. *Journal Of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 1-11.
- Perr, J. (2005). Basic acoustics and Signal Processing. LinuxFocus Article Number 271. <http://linuxfocus.org>
- Persson Waye, K., Bengtsson, J., Agge, A., Björkman, M. (2003). A Descriptive Cross Sectional Study of Annoyance from Low Frequency Noise Installations in an Urban Environment. *Noise Health*, 5(20), 35–46.
- Persson Waye, K., Rylander, R., Benton, S., & Leventhall, H.G. (1997). Effects on Performance and Work Quality Due to Low Frequency Ventilation Noise. *Journal of Sound and Vibration*, 205(4), 467–474.
- Prabhakaran, S., Krishnaraj, V., Senthil Kumar, M., & Zitoune, R. (2014). Sound and Vibration Damping Properties of Flax Fiber Reinforced Composites. *Procedia Engineering*, 97, 573-581.
- Rahman, M. Z. (2021). Mechanical and Damping Performances of Flax Fibre Composites – A Review, *Composites Part C: Open Access* 4, 100081.
- Rasmussen, B., & Ekholm, O. (2019). Is Noise Annoyance from Neighbours in Multi-Storey Housing Associated with Fatigue and Sleeping Problems? In *23rd International Congress on Acoustics-ICA 2019*, 5071-5078.

- Sagartzazu, X., Hervella-Nieto, L., & Pagalday, J. M. (2008). Review in Sound Absorbing Materials. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 15(3), 311-342.
- Sakamoto, S., Sato, K., & Muroi, G. (2024). Improvement of Sound-Absorbing Wool Material by Laminating Permeable Nonwoven Fabric Sheet and Nonpermeable Membrane. *Technologies*, 12(10), 195.
- Sakthivel, S., Senthil Kumar, S., Mekonnen, S., & Solomon, E. (2020). Thermal and Sound Insulation Properties of Recycled Cotton/Polyester Chemical Bonded Nonwovens. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 1-8.
- Sezgin, H., Kucukali-Ozturk, M., Berkalp O. B., & Yalcin-Enis, I. (2021) Design of Composite Insulation Panels Containing 100% Recycled Cotton Fibers and Polyethylene/Polypropylene Packaging Wastes. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127132.
- Shtrepi, L., Aletta, F., Aspöck, L., Astolfi, A., Fels, J., Hornikx, M., Jambrošić, K., Jeong, C-H., Kahle, E., Llorca-Bofi, J., Rindel, J.H., Rychtáriková, M., Torresin, S., Vorländer, M., (2024). Ten Questions Concerning Architectural Acoustics. *Building and Environment*, 265, 112012.
- Silva, L.T., Magalhaes, A., Silva, J.F. & Fonseca, F. (2021). Impacts of Low-Frequency Noise From Industrial Sources in Residential Areas, *Applied Acoustics*, 182, 2021, 108203.
- Smardzewski, J., Kamisiński, T., Dziurka, D., Mirski, R., Majewski, A., Flach, A., & Pilch, A. (2015). Sound absorption of wood-based materials. *Holzforschung*, 69(4), 431-439.
- Sü Gül, Z., & Çalışkan, M. (2022). Acoustics for Architects: A Potpourri of Undergraduate and Graduate Level Teaching Styles, Tools and in-Course Projects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151(4), 2326-2335.
- Tao, Y., Ren, M., Zhang, H., & Peijs, T. (2021). Recent Progress in Acoustic Materials and Noise Control Strategies – A Review, *Applied Materials Today* 24, 101141.
- Tong, H., Warren, J. L., Kang, J., & Li, M. (2023). Using Multi-Sourced Big Data to Correlate Sleep Deprivation and Road Traffic Noise: A US County-Level Ecological Study. *Environmental Research*, 220, 115029.
- Tümer Argüden, S., (2023). *Yapı Tasarımında Gürültü Faktörünün Türkiye ve Almanya Gürültü Yönetmelikleri Kapsamında İncelenmesi: Konut Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Uğur, C., (2024). *Mesleki Gürültüye Maruz Kalan Mermer İşçilerinin İşitmelerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Vandelook, S., Elsacker, E., Wylick, A.V., De Laet, L., & Peeters, E. (2021). Current state and future prospects of pure mycelium materials, *Fungal Biology and Biotechnology*, 8(20), 1–10.
- Wang, D., Peng, L., Zhu, G., Fu, F., Zhou, Y., & Song, B. (2014). Improving the Sound Absorption Capacity of Wood by Microwave Treatment, *BioResources* 9(4), 7504-7518.
- Wang, J., & Norbäck, D. (2021). Home Environment and Noise Disturbance in a National Sample of Multi-Family Buildings in Sweden-Associations with Medical Symptoms. *BMC Public Health*, 21(1), 1989, 1-18.
- Wang, X., Lu, Z., Jia, L., & Chen, J. (2016). Physical Properties and Pyrolysis Characteristics of Rice Husks in Different Atmosphere. *Results in Physics*, 6, 866-868.
- Wang, Y., Wu, H., Zhang, C., Ren, L., Yu, H., Galland, M.A., & Ichchou, M. (2019). Acoustic Characteristics Parameters of Polyurethane/Rice Husk Composites. *Polym. Compos.* 2019, 40, 2653–2661.
- Wise, S. & Leventhall, G. (2010). Active Noise Control as a Solution to Low Frequency Noise Problems. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 29(2), 129–137.
- World Health Organization (2009). *Night Noise Guidelines for Europe*, World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- World Health Organization (WHO) (1999). *Guidelines for Community Noise*, (Ed. (Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H.)), Geneva.
- World Health Organization (WHO) (2011). *Noise*, Available from: <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise>. (05.01.2026).
- Yang, H-S., Kim, D-J., & Kim, H-J. (2003). Rice Straw-Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials. *Bioresource Technology*, 86(2), 117- 121.
- Yılmaz, M., (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2), 33-54 (2012).
- Zach, J., Slávik, R., & Novák, V. (2016). Investigation of the Process of Heat Transfer in the Structure of Thermal Insulation Materials Based on Natural Fibres. *Procedia Engineering*, 151, 352-359.
- Zaporozhets, O., Fiks, B., Jagniatinskis, A., Tokarev, V., Karpenko, S., & Mickaitis, M. (2022). Indoor Noise A-Level Assessment Related to the

Environmental Noise Spectrum on the Building Facade. *Applied Acoustics*, 185, 108380.

Zhang, C., Li, J., Hu, Z., Zhu, F., & Huang, Y. (2012). Correlation Between the Acoustic and Porous Cell Morphology of Polyurethane Foam: Effect of Interconnected Porosity. *Materials & Design*, 41, 319–325.

Zhang, D., Zhou, X., Gao, Y., & Lyu, L. (2022). Structural Characteristics and Sound Absorption Properties of Waste Hemp Fiber, *Coatings*, 12(12), 1907.

İnternet Kaynakları

URL-1: <https://www.kucukdeveci.com.tr/camyunu-izocam/> (10.02.2026)

URL-2: https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/tasyunu?gad_source=1&gad_campaignid=22982391572&gbraid=0AAAAADMb2eRxYC4gYMNJIaI087vVj2pE6&gclid=Cj0KCQiA18DMBhDeARIsABtYwT2jmw8H2ewvxaOoxLvJS3IrUjvssmOdVy5qC5eHzID1C-tlFamvX3caAijwEALw_wcB (10.02.2025).

URL-3: <https://www.rbasbestos.co.uk/asbestos-insulation-board-what-you-need-to-know/> (02.02.2026).

URL-4: <https://www.kdasbestos.co.uk/asbestos-insulating-board/> (03.02.2026).

URL-5: <https://indosonic.com/indosonic-soundtrap-acoustic-wooden-wall-panels/> (05.02.2026).

URL-6: <https://www.acousticalsurfaces.com/blog/acoustics-education/wood-wool-uses/> (05.02.2026).

URL-7: <https://www.archdaily.com/catalog/us/products/14019/wood-fiber-acoustic-panels-envirocoustic-acoustical-surfaces/285249> (10.02.2026).

URL-8: <https://www.justdial.com/jdmart/Mumbai/Polyurethane-Acoustic-Foam/pid-802789901/022PXX22-XX22-180904123513-Z2V2> (10.02.2026).

URL-9: <https://www.mixinteriors.com/product/sound-absorbing-mycelium-panels-from-mogu/> (10.02.2026).

URL-10: <https://www.gp-award.com/en/products/hemp-panel>(10.02.2026).

URL-11: <https://materialdistrict.com/material/100-biobased-flax-panel/> (11.02.2026).

URL-12: <https://www.safilin.fr/flax-composites/?lang=en> (13.02.2026)

URL-13: https://acousticalsolutions.com/product/ecosorpt-cotton-acoustic-panel?srsItd=AfmBOooimqgsHScWBnd8BnR3VLLqnBedTGSiT1nNd8ZXV_eA9JTin-M9 (12.02.2026).

URL 14: <https://www.ko-si.si/en/Materials/Sisal> (14.02.2026).

- URL-15: <https://www.chinabambooindustry.com/bamboo-construction-materials/bamboo-acoustic-panel/bamboo-acoustic-wall-panels-wall-panel-bamboo.html> (13.02.2026).
- URL-16: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/binalarin-gurultuye-karsi-korunmasi-yonetmeligi-aciklama-ve-uygulama-klavuzu.pdf> (12.02.2026).

3. Bölüm

Yarı Kurak İklimlerdeki Konutlarda İç Mekanda Isı Kazanımını Kontrol Etmek İçin Kullanıcı Odaklı Pasif Stratejilerin Rolü: Gölgeleme Tasarım Elemanı Olarak Kumaş Kullanımı

Salar Salah Muhy Al-DIN ¹

ÖZET

Çalışmada, yarı kurak iklimlerde gölgeleme cihazı olarak dış kumaş uygulaması yoluyla, ısı kazanımı kontrolü için pasif teknikler geliştirmede kullanıcı davranışının önemli etkisini araştırmayı hedeflemiştir. Araştırmanın amacı; Kuzey Irak'ın en sıcak bölgeleri olan Garmian'daki konut binalarında enerji tüketimini en aza indirmektir. Saha araştırmaları, çalışma alanında kritik mevsim olan yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Güneş ışınımı ölçümlerini için yapılan saha gözlemlerinde görülen, bina dışında kumaş kullanımının, özellikle doğu ve güney yönlerinde doğrudan güneş ışınımını önemli ölçüde azalttığını doğrulamıştır. Yapılan araştırmaya göre, yapının yönüne bağlı olarak, bu kaplamalar gelen güneş ışınımının %43 ile %56 'sını engellediği görülmüştür. Bu, ısı alımını önemli ölçüde azaltmakta ve dolayısıyla iç mekan soğutma ihtiyacını düşürmektedir. Elde edilen sonuçlar, dış kumaşın yerel sosyo-ekonomik koşullara uyarlanmış uygulanabilir bir pasif gölgeleme seçeneği olarak yararlılığını göstermektedir. Sürdürülebilir tasarım uygulamasının önemli bir yönüne dikkat çekmektedir. Kullanılan malzeme üzerinde yapılabilecek değişikliklerinin önünü açmıştır. Son olarak, kullanıcı tarafından başlatılan davranışları ve yerel bilgiyi tasarıma entegre edildiğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Güneş Işınımı, Pasif Gölgeleme Malzemeleri, Sıcak ve Kuru İklimler, Bina İç Tasarımı, Garmian-Kuzey Irak.

¹ Doç. Dr, Arkın Yaratıcı Sanatlar ve Tasarım Üniversitesi, Tasarım Fakültesi, Girne, via Mersin, Türkiye
salar.aldin@arucad.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0365-8452

The Role Of User-Oriented Passive Strategies In Controlling Indoor Heat Gain In Houses In Semi-Arid Climates: The Use Of Fabric As A Shading Design Element

ABSTRACT

The study aimed to investigate the occupant performance in improving passive techniques for controlling thermal retention through the application of external fabric as a shading device in semi-arid climates. The research aimed to minimize energy consumption in residential buildings in Garmian, one of the hottest regions in Northern Iraq. Field surveys were conducted during the summer months, which are critical seasons in the study area. Field observations of solar radiation measurements confirmed that solar radiation operated from outside the building significantly monitors direct solar radiation, particularly in the east and south directions. Research has shown that, depending on the building's orientation, these coatings block between 43% and 56% of incoming solar radiation. This significantly reduces heat gain and, consequently, reduces interior cooling requirements. The results demonstrate the utility of exterior fabric as a viable passive shading option adapted to local socio-economic conditions. They highlight an important aspect of sustainable design practice, paving the way for changes to the materials used. Finally, they demonstrate the integration of user-initiated behaviors and local knowledge into the design.

Keywords: Solar Radiation, Passive Shading Materials, Hot and Dry Climates, Building's Interior Design, Garmian-Northern Iraq.

1. GİRİŞ

Konut yapıları, küresel birincil enerjinin %30 ila %40'ını tüketir (IEA, 2002). Adamu ve diğerleri tarafından 2020'de belirtildiği gibi, enerji kullanımı açısından çok önemlidir. HVAC sistemleri ısıtma veya soğutma için binaların elektrik tüketiminin %30'unu tüketirken, binaların elektrik tüketimi %40-50'ye yükselir (Krafi, 2021). Enerji tüketimini azaltma ve iklim değişikliği etkilerini ele alma gerekliliği, sürdürülebilir bina tasarımı ve enerji optimizasyon stratejilerine olan ilgiyi artırdı. Aşırı güneş ısı kazanımı ve yüksek enerji tüketimi, yarı kurak iklimlerdeki konut binalarının karşılaştığı sorunlardır (Muhy Al-Din vd., 2023). Etkili bir şekilde kullanıldığında çeşitli stratejiler enerji taleplerini azaltabilir ve pasif tasarım ve malzeme teknikleri uygulanabilir çözümler olarak öne çıkmaktadır (Akanke, 2010).

Bu çalışma, hem mevcut hem de gelecekteki bina iç ve dış tasarımlarına uyarlanabilen en basit tasarım ve malzeme stratejisi oldukları için öncelikle pasif gölgeleme yöntemlerine odaklanmaktadır. Ayrıca, Kuzey Irak'taki en sıcak kısımlarında yaşayan sakinler tarafından geliştirilen ucuz teknikleri ve malzemeleri kullanarak gölgeleme stratejilerine odaklanmaktadır. Bununla beraber, gölgeleme stratejileri üzerine mevcut çalışmaları gözlemlemekte ve araştırmaktadır. Koppen'in iklim sınıflandırmasına göre bölge Subtropikal-Bozkır (BSh) olarak sınıflandırılmaktadır (Kottek ve diğerleri, 2006). Yaz aylarında sıcak ve kuru hava mevcuttur. Daha önce belirtildiği gibi, bu araştırma daha çok ucuz dış gölgeleme stratejilerine eğilimlidir; bu nedenle, pasif strateji ve malzeme olarak dış gölgeleme incelenmiş ve ortaya konulmuştur. Genellikle, gölgeleme cihazları, binanın enerji talebini optimize ederken termal ve görsel konforu elde etmek için hem iç hem de dış binalarda kullanıldığı bilinen elemanlardır (Bunning ve Crawford, 2016).

Bu çalışmanın amacı, Kuzey Irak'ta yaşayan insanların termal konforunu ve enerji verimliliğini geliştirmektir. Çalışma alanındaki binanın dışındaki güneş ışığı insidansı (kWh/m²) yoluyla ısı kazanımını değerlendirmektir.

Ayrıca bu çalışma şu soruyu yanıtlamaktadır. Kuzey Irak'ta, seçili vaka çalışmalarına dayalı olarak, bina dışı gelişimi yoluyla, sakinlerin kendiliğinden termal davranışları, termal konforu ve enerji verimliliğini nasıl etkiliyor?

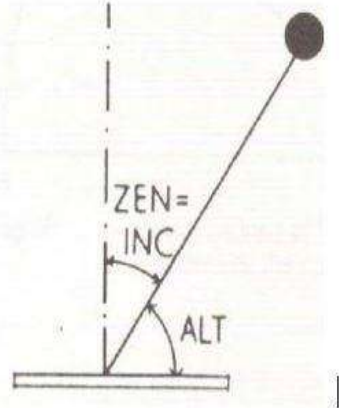
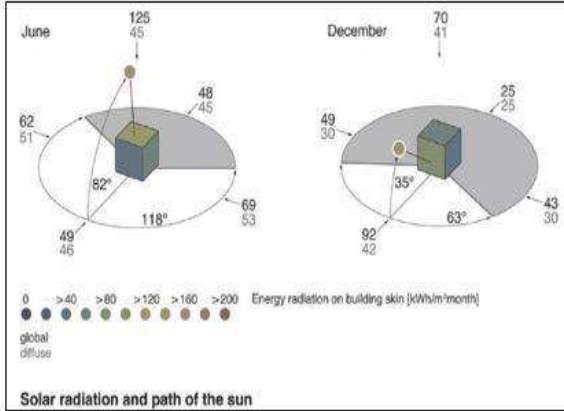
Devamında, Garmian - Kuzey Irak'taki evlerin dışı için yenilikçi ve yerel termal pasif tasarım ve tekniklerini değerlendirerek, bu bölgedeki sakinlerin kendiliğinden termal davranışlarından tavsiyeler alınmaktadır.

Son olarak, binanın dışının yanı sıra diğer mimari elemanlar üzerinde de yürütülmesi gereken diğer araştırma yollarının bir parçası olmaktadır. Kuzey Irak'ta Garmian bölgesinde daha iyi termal konfor ve düşük enerji tüketimi için bina tasarım malzemelerinde kapsamlı bir çözüm sunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Güneş Işınımı

Güneş ışınım gücü, güneş tarafından iletilen ve yüzeyler tarafından alınan ışınım enerjisidir. Güneşin ışınım yoğunluğunun birim zamanda birim alana düşmesidir ve genellikle metrekare başına Watt (W/m²) veya metrekare başına kilo Watt (kW/m²) olarak ifade edilir. Güneş ışınları, dünyanın enerjisinin çoğunu oluşturur. Güneş ışınımı spektrumu 290–2300 nanometre (nanometre) arasında değişmektedir. Atmosferin üst yüzeyine ulaşan ışınım konsantrasyonu genellikle sabittir. Bu 1395 W/m²'dir, ancak güneş ile dünya arasındaki mesafe nedeniyle $\pm\%3,5$ değişebilir. Ek olarak, güneş enerjisinden kaynaklanan farklılıklar nedeniyle $\pm\%2$ 'lik bir sapma olabilir (Koenigsberger ve ark., 2010, s. 3-4). Güneş ışınımı, bölgenin iklim özelliklerini (yüksek sıcaklıklar veya genel olarak soğukluklar) belirleyen en önemli hava değişkenidir. Bu nedenle, güneş ışınımı pasif güneş tasarım stratejilerini etkiler (Muhy Al-Din, & Saltık, 2025). Bina yüzeylerine düşen güneş ışınımı miktarı mevsime, günün saatine ve coğrafi konuma (enlem ve boylam) bağlı olarak değişir ve güneşin yüksekliğini ve yolunu doğrudan etkiler (Othman, 2018).



Şekil 1. (Solda) Güneş Yolu, (Sağda) Güneş Işınımı.

2.2. Bina Görünümü

Bir binanın dış görünümü, dış ve iç ortam için bir filtre olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, binanın dış hava koşullarının iç çevresi üzerindeki etkisini koruyan bir örtüdür (Glass, 2002). Bina dış görünümü veya dış yüzeyi yalnızca bu işlevi yerine getirmekle kalmaz, aynı zamanda yerine getirmesi gereken başka işlevler de vardır. Bunlar, dış sert hava koşullarından korur, güneş ışınları ve güneş ısısı kazanımını ve hava sızıntısını kontrol eder. Ayrıca, doğal havalandırmayı yönetir, gürültüyle başa çıkar ve iç mekan hava kalitesi

yönetiminden de sorumludur. Tüm bunlara ek olarak, taşıyıcı duvarların yapısal sistemi aracılığıyla binayı bir bütün olarak taşımak gibi yapısal bir işlevi de vardır. Öte yandan, Hensel (2013), bina dış yüzeyi için dört fiziksel işlev belirlemiştir.

2.3. Destek Fonksiyonu

Bu, binanın sağlamlığını sağlamak için gerekli olan canlı ve ölü yükleri binaya aktarmak ve dağıtmak suretiyle zarfın yapısal görevini ifade etmektedir (Jamnani, 2009).

2.4. Kontrol Fonksiyonu

Bu, bina dış yüzeyinin, iç ve dış ortam arasındaki dalgalanmayı, kullanıcıların konforuna göre hafifletmek için dış ortam çeşitliliğiyle iç ortamı düzenleme görevi anlamına gelmektedir (Krishan vd., 2001; Cenek, 2013).

2.5. Dağıtım İşlevi

Bina genel olarak, elektrik hatları, su, iletişim hizmetleri ve kamu hizmetleri gibi hizmet hatlarının dağıtımında yardımcı olabileceği yerdir.

2.6. Estetik Fonksiyonu

Estetik fonksiyon, binanın uygun malzemelerle desenler, şekiller, renkler vb. aracılığıyla kamuya sunulmasıyla sağlanır (Pallasma, 2005).

Bina dış yüzeyi, dış çevreyle ilk etkileşim unsurudur. Bu nedenle, binanın ısı değişimi (ısı kaybı/kazancı), binanın dış tasarımına bağlı olarak değişebilir. Temel olarak, tek katlı binaların ısı kaybından dış duvar ve pencerelerin %45'i, zemin ve çatıların %42'si ve hava kaçaklarının %13'ü sorumludur. Çok katlı binaların ısı kaybı, hava kaçaklarının %17'sinden, bodrum ve tavan döşemelerinin %13'ünden ve dış duvar ve pencerelerin %70'inden kaynaklanmaktadır (Basarir vd., 2012).

2.7. Pasif Gölgeleme Stratejileri

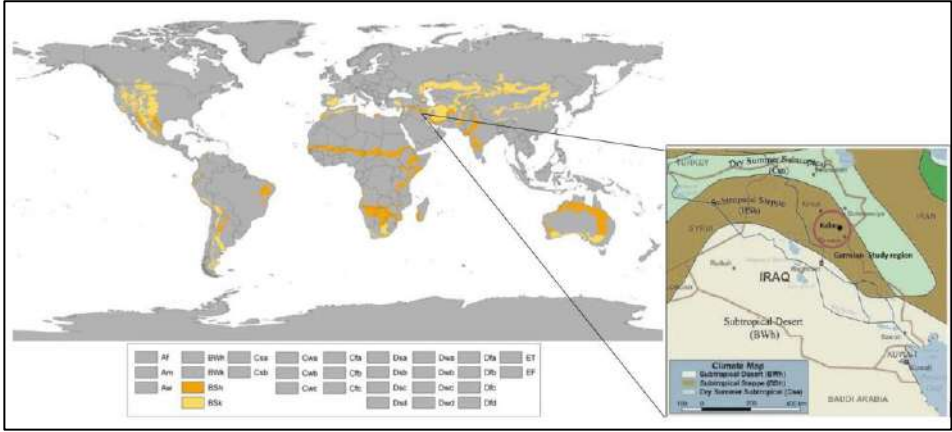
Enerji optimizasyonu ve konforla ilişkili çeşitli tasarım stratejileri mevcuttur ancak bu araştırma yalnızca pasif gölgeleme stratejilerini tercih etmektedir. Bunun sebebi, hem mevcut hem de önerilen bina tasarımlarına sonradan uygulanabilen en kolay tasarım stratejisidir. Ayrıca, düşük maliyetli bir seçenek olarak her kesimden hane tarafından kolayca benimsenmektedir. Bu stratejiler, doğrudan güneş ışınlarından korunmak ve böylece binalardaki ısı kazanımını azaltmak için gölgeleme cihazları, ağaçlar ve saçaklar gibi doğal unsurların kullanımını içermektedir (Brawm ve Dekay, 2001). Pasif gölgeleme teknikleri,

binaların ısı kazanımını azaltmada ve enerji verimliliğini artırmada çok önemlidir. Saçaklar, ağaçlar, dış gölgeleme cihazları ve iç gölgeleme cihazları, gölge sağlayan ve binaya giren doğrudan güneş ışını miktarını düzenleyen popüler pasif gölgeleme stratejileridir. Binanın düzeni, gölgeleme cihazları, zarf termofiziği, pencere düzeni, sızma ve hava geçirmezlik, pasif tasarım çözümlerine sadece birkaç örnektir (Liu vd., 2020). Tasarımın erken bir aşamasında, iç mimarlar yüksek bina performansı elde etmek için uygun pasif tasarımlar kullanabilirler. Araştırmacılar, dünyanın dört bir yanından iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için çeşitli pasif adaptasyon stratejilerini incelemiştir (Liu ve diğerleri, 2020). Bu literatür taramasının odak noktası, bu pasif gölgeleme stratejilerinin enerji tasarrufu ve iç mekan termal konforunu artırmak için ne kadar etkili olduğudur.

Bina cephelerinin dış kısmına doğrudan güneş ışınlarını engellemek ve ısı kazanımını azaltmak için harici gölgeleme elemanları yerleştirilmektedir. Bina cephelerinde güneş ışınımını azaltmak için harici gölgeleme elemanlarının kullanımı, pasif tasarımın önemli bir bileşenidir. Çalışmalar harici gölgeleme elemanlarının avantajlarını göstermiş olsa da, çoğu yalnızca kozmetik nedenlerle inşa edilmekte ve güneş ışınımını ve parlamayı en aza indirmedeki önemli yetenekleri göz ardı edilmektedir (Shahdan vd., 2018). Doğrudan güneş ışığının binaya girmesini engelleyen popüler pasif gölgeleme teknikleri arasında panjurlar, dikey kanatçıklar ve gölgeleme perdeleri gibi harici gölgeleme elemanları bulunmaktadır.

2.8. Yarı Kurak İklimler

Köppen-Geiger iklim sınıflandırması, yarı kurak veya bozkır iklimlerini (BSk (Soğuk yarı kurak) ve BSh (Sıcak yarı kurak) çöl iklimleri (BW) ile nemli iklimler arasında ara koşullar olarak tanımlar. Şekil 2'ye bakınız. Yarı kurak veya bozkır iklimi diğer bir terimdir. İklim, potansiyel olarak "buharlaşma (Evaporanspiration)" altında yağış alan, ancak çok fazla değil (Peel ve diğerleri, 2007).



Şekil 2. Yarı Kurak İklim Bölgeleri

İzoterm, yani eşit eğrisi, sıcak yarı kurak iklimi soğuk yarı kurak iklimden ayırır. Bu izoterm, en soğuk ayında ortalama 0°C veya -3°C olan bir yerin "BS" tipi bir iklime sahip olduğunu gösterir. Bu izotermin eşit eğrisi üzerindeki uygun sıcaklık "sıcak yarı kurak" (BSH) olarak adlandırılır; izotermin eşit eğrisi altındaki uygun sıcaklık ise "soğuk yarı kurak" (BSk) olarak adlandırılır (Peel ve diğerleri, 2007). Çalışma bölgesi (Garmian), Köppen-Geiger iklim sınıflandırma sistemine göre yarı kuru iklim-subtropikal bozkır (BSH) kategorisine girer. Yaz aylarında Garmian bölgesinde sıcaklıklar 50°C 'nin üzerine çıkabilir. Ocak ayında hava en soğuk, Temmuz ayında en sıcaktır. Burası daha fazla karasal iklim etkisine sahiptir ve hem yıllık hem de günlük sıcaklık aralıklarını etkiler. Kış aylarında sıcaklık bazen sıfıra düşmektedir. (Malinowski, 2001).

3. MATERYAL VE METOD

Felsefi varsayımlar/sorular ve doğrulamalar arasındaki boşlukları kapatmak amacıyla, nesnel göstergelere ve öznel göstergelere dayalı nicel ve nitel yaklaşımlar içeren karma bir yöntem benimsenmiştir. Veri toplama için nesnel göstergeler, ölçüm araçları kullanılarak ampirik veriler elde etmeyi ve elde edilen verilerin istatistiksel geleneksel yöntemlerle analiz edilmesini içermektedir. Veri toplama için öznel göstergeler, araştırma konusuyla ilgili önerilen en iyi uygulamalarla sistematik literatür taraması yoluyla yönlendirilmiş ve hakemli dergilerdeki makalelerden ve akademik olarak onaylanmış literatürden derlenmiştir.

Çalışmanın yürütüldüğü bölgedeki konutlarda yaşayanların benimsediği en yenilikçi veya kendiliğinden oluşan pasif gölgeleme stratejileri, yapılan

gözlemler ve saha ziyaretleri temel alınarak vaka çalışması metodolojisi olarak belirlenmiştir.

Bu nedenle, çalışma, bina dış yüzeyi ilgili evlerde, kullanıcılar tarafından uygulanan kendiliğinden termal tasarım stratejilerinin termal konfor ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Saha gözlemleri, batı, doğu ve güney cepheli binaların kullanıcılarının bina yüzeyinde gölge sağlamak ve yazın doğrudan güneş ışınlarından kaçınmak için özel ve ucuz bir yöntem uyguladıklarını ortaya koymuştur. Bu yöntem, cephenin ve bina yüzeyinin büyük bir kısmını kaplayan hafif bir dış kumaş kullanmayı içerir. Bu yöntem ucuz, basit ve taşınabilir. Bu, kış aylarında çıkarılabileceği ve yaz aylarında kullanılabileceği anlamına gelir. Dış kumaşı bu şekilde kullanmanın yolu, bu bölge halkının 1960'lardan beri siyasi çatışmalar, savaşlar, iç göçler sırasında zaman zaman çadır kullanmasından ve 1970'ler, 1980'lerden 1990'ların başına kadar birçok kez tekrarlanmasından gelen geçmiş deneyimlerden kaynaklanmaktadır.

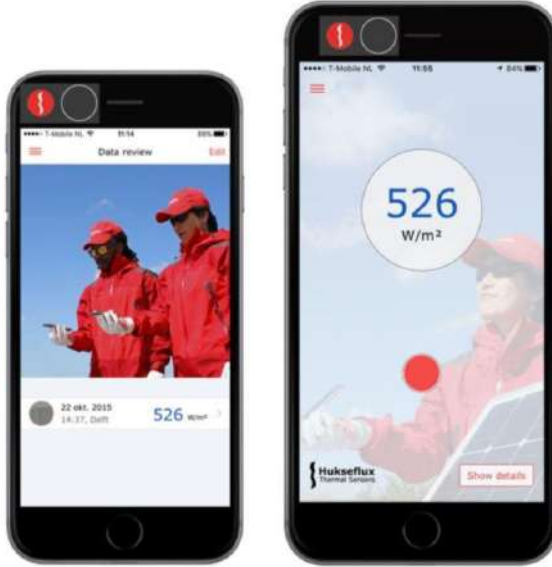


Şekil 3. Evlerin Dış Cephesinde Kullanılan Kumaş Örneği

Bu çalışma, her cepheye sekiz adet olmak üzere (doğu, batı, kuzey, güney) toplam otuziki adet eve uygulanmıştır. İç hava kalitesini iyileştirmek için kullanıcıların kendiliğinden termal davranışları arasında bu teknik yer almaktadır.

Sahada ısı kazanımı azaltımının daha gerçekçi bir değerini test etmek için yerinde gözlemler yapılmıştır. Gözlemlerin zamanı binaların cephesine göre değişmiştir. Doğu cepheli binalar için, doğrudan güneş ışığı gelmesini sağlamak amacıyla sabah 9:00 ile 10:00 arası seçilmiştir. Aynı bağlamda, güney cepheli binalar için öğlen vakti, batı cepheli binalar için ise öğleden sonra seçilmiştir. Ancak, kuzey cepheli binalar maksimum dolaylı ışınımı sağlamak amacıyla öğlen 12:00 ile 13:00 arasında test edilmiştir. Binaların cephelerindeki güneş ısısı kazanımının azalması, yerinde gözlem yoluyla termal sensör uygulaması

(Hukseflux Termal sensör tarafından geliştirilen Pyranometer App 2.0) kullanılarak kontrol edilmiştir. 'Pyranometer', eğitim amaçlı olarak küresel güneş ışınımını (W/m^2) ölçmektedir.



Şekil 4. Hukseflux Termal Sensör Tarafından Geliştirilen “Pyranometer App 2.0”

Tablo 1. “Pyranometer App 2.0” Özellikleri

‘Pyranometer App. 2.0’ Özellikleri	
Ölçü	Yarım küresel güneş ışınımı
Amaç	Eğitim
Platform	iOS ve iPhone
Ücret	Bedelsiz
İndirme	iTunes üzerinden
Destekleme	iTunes üzerinden
Kalibrasyon izlenebilirliği	Yerel istasyon üzerinden

Ölçümler, binaların dış cephesinin dış kumaşla sağlandığı ve kumaşla sağlanmadığı tüm yönlerde yapılmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Garmian'ın merkezindeki Kalar şehrinde seçilen evler temel alınarak, bu tür bir çalışmanın Garmian'daki konut binalarının cephelerindeki güneş ısı kazanımını azaltmada yararlı olduğunu göstermiştir. Evlerin içindeki enerji tüketimini azaltmıştır. Gözlem, güneş ışınımını binanın yüzeyinde sabitlenen yerlerde (dış kumaş) yaklaşık %43-56 oranında engellendiğini göstermektedir. Her bir yönde engellenen gerçek güneş ışınımı miktarı, doğu cepheli binalarda diğer yönler göre güneş ışınımını daha fazla engellediğini göstermektedir (yaklaşık 6.000 W/m²). Aynı şekilde, güney cepheler güneş ışınımını engelleyen ikinci yöndür (yaklaşık 4.900 W/m²). Batı cephelerindeki dış kumaş, güneş ışınımını (yaklaşık 4.000 W/m²) engellemektedir. Bu kumaşların en düşük etkisi güneş ışınımı azalmasını yaklaşık (1.990 W/m²) gösterdiği kuzey cephesinde kaydedilmiştir. Bu, günlük güneş ışığı mevcudiyetine bağlı olan cephelere doğrudan gelen güneş ışınlarının saatlerine bakılmaksızın geçerlidir. Detaylar aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. “Pyranometer App. 2.0” ile Saha Gözlem Sonuçları

Bina yönleri	Açıkta kalan cephedeki güneş ışınımı (W/m ²)	Kapalı cephedeki güneş radyasyonu (dış kumaş) (W/m ²)	Doğrudan güneş ışınımının yüzdesel olarak azalması
Güney	9.680	4.469	%54
	8.945	4.294	%52
	10.120	4.959	%51
	9.851	4.334	%56
	9.267	4.726	%49
	9.125	4.380	%52
	9.566	4.497	%53
	8.845	4.423	%50
Kuzey	3.847	2.001	%48
	4.010	1.884	%53
	4.134	2.109	%49
	3901	2.028	%48
	3.965	1.903	%52
	3.790	1.857	%51

	4.078	1.916	%53
	3.890	2.023	%48
Doğu	12.283	5.401	%56
	11.987	6.353	%47
	12.365	5.688	%54
	11.832	6.389	%46
	11.900	5.235	%56
	12.101	6.898	%43
	11.798	5.781	%51
	12.219	6.232	%49
Batı	8.344	4.749	%43
	8.239	4.284	%48
	7.986	3.913	%51
	8.412	4.290	%49
	8.369	3.767	%55
	8.299	4.481	%46
	8.403	4.622	%45
	8.197	4.099	%50

Sonuçlar, bu strateji sıcak mevsimlerde kullanıldığında binaların dış cephesine gelen güneş ışınımının %43-56 oranında azaldığını göstermiştir. En çok etkilenen evler güney cepheli, ardından doğu cepheli ve üçüncü sırada batı cepheli evler gelirken, en az etkilenen binalar kuzey cepheli evlerdir. Bu stratejinin etkisi, bina yüzeylerine düşen güneş ışınımı yoğunluğuna ve binaların güneş ışınımına maruz kaldığı saat sayısına bağlıdır. Bu durum, mimarlara ve iç mimarlara çalışma bölgesinde termal konforu iyileştirmek ve enerji tasarrufuna yardımcı olmak için önemli stratejilerden biri olarak ışık tutmakta ve bu tekniğin doğru mimari ve mühendislik yöntemleriyle geliştirilmesi konusunda önemli bir ipucu vermektedir.

Bulgular, sürdürülebilir mimari ve iç mimari pratiğinin önemli bir boyutunu, yani yerel bilginin ve kullanıcı tarafından başlatılan davranışların bina tasarımına dahil edilmesini vurgulamaktadır. Ayrıca, çalışma, sıcak ve kurak iklimlerde termal performansın bir belirleyicisi olarak bina yüzeyinin gelişiminin önemini vurgulamaktadır. Mimarlara, iç mimarlar ve mühendisler, zarf seviyesinde ısı transferini kontrol ederek termal konforu önemli ölçüde artırabilir ve HVAC sistemlerindeki enerji bağımlılığını azaltabilirler. Bu tür kumaş bazlı gölgeleme çözümlerinin başarısı, performansı artırmak için

yansıtıcı, cilalı veya beyaz kumaşlar kullanmak gibi daha fazla malzeme iyileştirme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Son olarak, bu araştırma, termal konfor ve enerji verimliliği arayışında yerel bilgi, kullanıcı davranışı ve düşük teknoloji müdahalelerden yararlanmak için güçlü bir gerekçe sunmaktadır. Dış kumaş malzeme stratejisi yalnızca Garmian bölgesinin iklimsel zorluklarını ele almakla kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilir, bağlama duyarlı tasarım ilkeleriyle de uyumludur. Gelecekteki araştırmalar, çatılar ve avlular gibi farklı mimari ve iç mimari malzemelerinde kullanıcı odaklı diğer adaptasyonları araştırarak bu çalışmayı genişletmelidir. İlâveten bu sonuçlar, daha geniş mimari uygulamalara entegre edilmesi, küresel çapta yarı kurak bölgeler için daha dayanıklı ve duyarlı malzemelerin geliştirilmesine de katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adamu, M. B., Adamu, H., Ade, S. M., and Akeh, G. I., (2020). *Household energy consumption in Nigeria: A review on the applicability of the energy ladder model*, Journal of applied sciences and environmental management, 24(2), 237-244. <https://doi.org/10.4314/jasem.v24i2.7>
- Akande, O. K., (2010). *Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria*, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 128, 61-71. <https://doi.org/10.2495/ARC100061>
- Basarir, B., Diri, B. S., Diri, C., (2012). *Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings*, Retrieved from <http://aceee.org/files/proceedings/2015/data/papers/2-207.pdf>
- Brawm, G.Z., Dekay, M., (2001). *Sun, Wind & Light- Architectural Design Strategies* (2nd edition), United States of America: John Wiley and Sons.
- Bunning, M.E., Crawford, R.H., (2016). *Directionally selective shading control in maritime sub-tropical and temperate climates: life cycle energy implications for office buildings*, Building Environment; 104:275-285. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.009>
- Cenek, M., (2013). *Architecture: concept, form and Aesthetics from the respective of Sustainability*, Prague, Czech Republic: CESB.
- Hensel, M., (2013). *Performance-oriented Architecture Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, Chichester, West Sussex, UK: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118640630>
- Jamnani, T.D., (2009). *Critical Look to The Developments in Architectural Structures*, Gazimagusa, North Cyprus: Eastern Mediterranean University (EMU).
- Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., and Szokolay, S.V., (2010). *Manual of Tropical Housing and Design: Climatic Design*, Hyderabad, India: Universities Press.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., and Rubel, F., (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, Meteorologische Zeitschrift, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Krarti, M., (2021). *Evaluation of energy performance of dynamic overhang systems for US residential buildings*. Energy and Buildings, 234, 110699. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110699>
- Krishan, A., Baker, N., Yannas, S., and Szokolay, S.V., (2001). *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Buildings*, New Delhi, India: Tata Mcgrew-Hill.
- Liu, S., Kwok, Y. T., Lau, K. K. L., Ouyang, W., and Ng, E., (2020). *Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for*

- residential buildings in hot and humid Hong Kong*, Energy and Buildings, 228, 110469. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110469>
- Malinowski, J., (2001). *Iraq a Geography- (Executive summary)*, United States: Military Academy, West Point, NY. Dept. of Geography and Environmental Engineering.
- Muhy Al-Din, S. S., Nia, H. A., (2017). "Beauty" Based on the Functionality of Smart Skin in Buildings, Open House International, Vol. 42(4), pp. 60–69, 2017. <https://doi.org/10.1108/OHI-04-2017-B0008>
- Muhy Al-Din, S. S., Ahmad Nia, H., and Rahbarianyazd, R., (2023). *Enhancing Sustainability in Building Design: Hybrid Approaches for Evaluating the Impact of Building Orientation on Thermal Comfort in Semi-Arid Climates*, Sustainability, 15(20), 15180. <https://doi.org/10.3390/su152015180>
- Muhy Al-Din, S. S., Saltik, B., (2025). *Regulating Indoor Comfortable Temperature Limits for Sustainable Architectural Design in Mediterranean Climates*. Buildings, 15, 899. <https://doi.org/10.3390/buildings15060899>
- Pallasma, J., (2005). *The Eyes of the Skin: Architecture and The Senses*, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A., (2007). *Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 4 (2), pp.439-473. <https://doi.org/10.5194/hessd-4-439-2007>
- Shahdan, M. S., Ahmad, S. S., and Hussin, M. A., (2018). *External shading devices for energy efficient building*, Presented in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 117(1). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/117/1/012034>
- Szokolay, S. V., (2007). *Solar Geometry*. Brisbane, UK: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland, Australia.