



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.03.2024  
Kabul Tarihi : 05.09.2024

Received Date : 26.03.2024  
Accepted Date : 05.09.2024

### ISI VE SES YALITIMINDA İNOVATİF ÇÖZÜM OLARAK PERLİT: DERLEME VE İNCELEME

#### PERLITE AS AN INNOVATIVE SOLUTION IN HEAT AND SOUND INSULATION: A REVIEW AND ANALYSIS

*Necim KAYA*<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0003-1478-761X)  
*Berfin RAMAZANOĞLU*<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0001-5263-1531)

<sup>1</sup> Batman Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Batman, Türkiye  
<sup>2</sup> Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Necim KAYA, necim.kaya@batman.edu.tr

#### ÖZET

Enerji, yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Artan nüfusla birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. İnşaat sektörü enerji tüketim performansı açısından oldukça önemli bir konumdadır. Bu durum inşaat sektöründe düşük enerjili binaların artmasına yönelik çalışmaları daha da önemli hale getirmektedir. Enerji israfının önlenmesi ve enerjinin etkin kullanılması için, yapılarda yalıtım önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz, enerji ve yalıtım malzemeleri konusunda dışa bağımlıdır. Bu yüzden dışa bağımlılığı azaltacak, yerli malzemelerden üretilen rekabet gücü yüksek yalıtım malzemelerinin ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda zengin ve kaliteli yataklara sahip olduğumuz perlit malzemesi sektör için oldukça önemli bir malzeme konumundadır. Bu çalışma, perlit malzemesinin yalıtım alanında kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Yapılan kapsamlı literatür taraması, uygun malzemeler ve bağlayıcılar kullanılarak yapılan işlemlerin, yeni nesil perlit esaslı yalıtım malzemelerinin istenen yalıtım performansını karşılayabileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, ısı yalıtımı, perlit, ses yalıtımı, sürdürülebilirlik

#### ABSTRACT

Energy plays a vital role in raising living standards. Energy consumption increases with the growing population. The construction sector is in a very important position in terms of energy consumption performance. This makes it even more important to increase the number of low-energy buildings in the construction sector. Insulation in buildings has an important place in preventing energy waste and using energy efficiently. Our country is dependent on foreign energy and insulation materials. Therefore, it is important to develop highly competitive insulation materials produced from domestic materials and new technologies that will reduce foreign dependency. In this context, perlite material, which we have rich and high-quality deposits, is a very important material for the sector. This study aims to evaluate perlite material comprehensively in the field of insulation. The extensive literature review reveals that the new generation of perlite-based insulation materials can meet the desired insulation performance by using appropriate materials and binders.

**Keywords:** Energy, thermal insulation, perlite, sound insulation, sustainability

## GİRİŞ

Enerji, ekonomik büyüme, gelişme ve toplumsal ilerleme bağlamında son derece kritik bir unsurdur; ülkelerin uluslararası politikalarının yönetiminde etkili bir rol oynar ve yaşam standartlarının geliştirilmesinde önemli bir faktördür. Daha fazla ürün ve hizmet üretilmesinin yanı sıra toplumun yaşam standartlarının yükseltilmesinin, enerji kullanım oranı ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır (Sagbaş ve Başbuğ, 2018). Dolayısıyla, gündün güne artan nüfus miktarıyla kentleşme sorunu artmakta, buna bağlı olarak enerji kullanım oranı ve çevresel sorunlar da artmaktadır (Karademir ve Dağ, 2021; Sagbaş ve Başbuğ, 2018). Artan çevresel kirlilik, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve artan enerji maliyetleri gibi zorluklar göz önünde bulundurulduğunda; enerjinin endüstriyel, yapısal, hizmet sektörleri ve ulaşım gibi alanlarda daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını kaçınılmaz hale getirmiştir (Sagbaş ve Başbuğ, 2018).

Dünya genelinde enerji tüketiminde inşaat sektörünün oldukça önemli bir etkisi bulunmaktadır. Türkiye'nin sektörler itibarıyla enerji tüketim yoğunluğuna bakıldığında; %40'ı sanayi, %31'i konutlar, %19'u ulaşım, %5'i tarım ve %5'i diğer ihtiyaçlar şeklinde dağılmaktadır. İnşaat sektöründe konut tipi binalar büyük derecede enerji israfına yol açmaktadır. (Karademir ve Dağ, 2021). Binalardaki enerji kullanımının ise % 85'inin ısıtma için harcandığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, enerji tasarrufu potansiyelinin büyük kısmının binalarda olduğunu açıkça göstermektedir (Arslan ve Aktaş, 2018). Ülkedeki binaların verimli tüketim tercihleri yapmaması ve teknolojiyi takip etmemesi, geleneksel yöntemlerle yapılan inşaatlar, önemli ölçüde enerji israfına yol açmaktadır (Karademir ve Dağ, 2021; Sagbaş ve Başbuğ, 2018). Örneğin, Türkiye'deki binalarda birim alanı ısıtmak için kullanılan enerji miktarı, Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla 2-3 kat daha yüksektir. Bu veriler, binaların hem enerji tüketimi hem de sera gazı salınımı açısından küresel anlamda büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yaşamın ve kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak için gerekli önlemlerin alınması artık daha da kritik hale gelmektedir (Sagbaş ve Başbuğ, 2018). Bu hedeflere ulaşmak için, öncelikle sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmeli, enerji ihtiyacı azaltılmalı ve mevcut enerji kullanımında verimliliği artırmak için çaba harcanmalıdır. Ayrıca, sürdürülebilir bina standartlarına uygun yapılar inşa edilerek, sürdürülebilir bir yaşam tarzı teşvik edilmelidir (Karademir ve Dağ, 2021; Sagbaş ve Başbuğ, 2018).

Yapı endüstrisindeki enerji tüketimi, dünya genelindeki küresel enerji tüketiminin ve CO<sub>2</sub> salınımının önemli bir bölümünü oluşturduğundan, binaların enerji verimliliğini artırmanın önemi giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu bağlamda enerji tasarrufunun sağlanması için yapılarda ısı yalıtımı oldukça önemli bir faktördür (Arslan ve Aktaş, 2018; Uluer vd., 2018). Isı yalıtım uygulamalarında, düşük ısı iletim katsayısına, yanmazlık özelliğine, kolay uygulanabilirliğe ve ekonomik maliyetlere sahip olan malzemelere olan talep artmaktadır. Son zamanlarda, inşaat sektöründe araştırılan ve benimsenen önemli konulardan biri sürdürülebilirlik ve ekolojik tasarımdır. Sürdürülebilir ve sağlıklı yaşam alanlarının tasarımında dikkate alınması gereken faktörlerden biri de akustik konforudur (Arslan ve Aktaş, 2018). İnşaat sektöründeki gelişmeler nedeniyle yapıların akustik performansı ve ses yalıtımı giderek daha fazla önem kazanmıştır. Ortam gürültüsünü azaltmak, kaliteli bir yaşam seviyesi nedeniyle modern toplumlarda oldukça önemli bir konudur. Yapıların akustik özellikleri, ses iletimini azaltma yeteneğine sahip olmasıyla karakterize edilmektedir. Betonun akustik özellikleri genellikle yoğunluklarına bağlıdır ve daha hafif olan betonların ses emme kapasitesi daha yüksek yoğunluklu betonlara kıyasla daha yüksek olmaktadır. Sürdürülebilir bir yaşam için doğal malzemelerden üretilen, daha çevreci yeni nesil malzemeler araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir (Amran vd. 2021). Yalıtım teknolojileri, enerji kaybını minimize etmede önemli bir rol oynamaktadır. Doğru yöntemlerle üretilen yalıtım malzemeleri, uzun ömürlü, ekonomik, çevre dostu ve sağlıklı olmanın yanı sıra yerel ve sürdürülebilir özelliklere sahiptir. Bu nedenle, konutlarda ısı ve ses yalıtımı, makul enerji tüketimi, yeterli konfor ve sağlık koşullarını sağlamak için giderek daha fazla önem kazanmaktadır ve bu tür yalıtım ürünlerine olan talep de artmaktadır (Arslan ve Aktaş, 2018). Yerli kaynaklar ve teknoloji kullanılarak geliştirilecek yeni nesil yalıtım malzemeleri, bu bağlamda büyük bir öneme sahiptir. Bu malzemeler, yerli üretim ve teknolojiyle üretilerek sürdürülebilirlik ve ekonomik açıdan önemli avantajlar sunacaklardır (Uluer vd., 2018).

İnşaat sektöründe organik ve inorganik birçok malzeme yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tablo 1'de hammadde kökenlerine göre sınıflandırılan ve ısı yalıtımında yaygın kullanılan bazı malzemeler belirtilmiştir. Isı yalıtımında kullanılan malzemelerin avantajlarının yanı sıra sahip oldukları bazı dezavantajlar da olabilmektedir. Stiren, polistiren, ekstrüde polistiren ve benzeri organik ısı yalıtım malzemeleri, düşük ısı iletkenlikleri ve yoğunlukları nedeniyle ısı yalıtım levhaları olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak, yanmaları kolaydır ve büyük miktarda zehirli gaz açığa çıkarmaktadırlar, bu da yangın kazalarına neden olmaktadır (Gao vd., 2019; Argunhan vd., 2016). Son dönemde ülkemizde birçok kamu kurumu; özellikle yurtlar, hastaneler, okullar gibi

kurumlar yangınlar nedeniyle zarar görmüştür. Bu yangınların nedenleri arasında, ısı yalıtım malzemelerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalarak yanması ve yangının yayılmasını hızlandırması önemli bir faktördür. Mevcut ısı yalıtım malzemelerinin olumsuz bir özelliği ise zamanla ısı iletiminin artmasıdır; geliştirilmiş polistren köpük levha, ekstrüde polistren köpük levha ve poliüretan köpükler gibi malzemelerde zamanla gazların yer değiştirmesi sonucunda ısı iletim katsayısının arttığı bilinmektedir. Oysa yalıtım malzemelerinde aranan en önemli özelliklerden biri zamanla ısıl özelliklerini korumasıdır (Uluer vd., 2018). Isı yalıtım malzemelerinin sahip olması gereken birçok özellik daha vardır ve bu beklentiler malzemenin kullanılacağı yere ve amaca göre değişiklik göstermektedir.

**Tablo 1. Isı Yalıtım Malzemeleri (Özer ve Özgünler, 2019)**

<b>İnorganik Kökenli Isı Yalıtım Malzemeleri</b>	<b>Organik Kökenli Isı Yalıtım Malzemeleri</b>	<b>İleri Teknoloji Ürünler</b>
Genleştirilmiş Perlit	Ahşap yünü levhalar	Aerojel
Genleştirilmiş Perlit Levhası	Ahşap lifli levha	Vakum yalıtım paneli vs.
Genleştirilmiş Vermikülüt	Genleştirilmiş mantar levha	
Mineral Yün	Gevşek dolgu selüloz yalıtım	
Cam Köpüğü	Kenevir	
	Ekstrüde Polistren	
	Genleştirilmiş Polistren	
	Fenolik Köpük Levha	

Her anlamda mükemmel özelliğe sahip olamayan ısı yalıtım malzemelerinin sahip olduğu bazı dezavantajlar, inşaat sektöründe geniş kullanım alanını büyük ölçüde sınırlamaktadır. Bu nedenle inorganik malzemeler, yangına dayanıklılık özellikleri ve kullanımda dayanıklılıkları nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu bağlamda günümüzde yaygın kullanılan yapı yalıtım malzemesi olan perlit, inşaat endüstrisinde ısı ve ses izolasyon malzemelerinin kullanımıyla yalıtım değeri yüksek ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır (Gao vd. 2019). Perlit malzemesi sahip olduğu bir çok üstün özelliğinden dolayı araştırmacıların da ilgi odağında olmuş ve ısı ve ses yalıtım malzemelerinde perlit malzemesinin kullanılmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Topçu ve Işıkdag (2007), farklı kil içeriklerine sahip tuğlalarda %0 ila %50 arasında perlit ilavesi yaparak mekanik ve termal özellikleri incelemiştir. Farklı oranlarda perlit içeren tuğlaların deney sonuçlarına göre, perlit içermeyen tuğlanın basınç dayanımı 5.8 MPa iken, içeriğindeki perlit miktarının artmasıyla basınç dayanımı 2.0 MPa'ya düşmüştür. Isıl iletim katsayısı sonuçlarına bakıldığında ise perlit ilavesinin olumlu katkısı görülmüş; %30 perlit içeren tuğlanın ısı iletim katsayısı 0.465 W/m.K olan normal tuğlanın ısı iletim katsayısından daha düşük, yani 0.215 W/m.K değerine düşmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda, ısı iletimi ve mekanik özellikler açısından optimum perlit miktarının %30 olduğu belirtilmiştir.

Topçu ve Işıkdag (2008), çeşitli çimento tiplerinin kullanım oranlarına bağlı olarak geliştirilmiş perlit ilaveli betonun özelliklerini incelemiştir. Yapılan testlerde, geliştirilmiş perlit agrega oranının artmasıyla betonların basınç ve çekme dayanımının azaldığı ancak daha hafif bir malzeme olarak kullanılabilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, çalışmada geliştirilmiş perlit agregası içeren betonların ses ve ısı yalıtımında avantajlı özelliklere sahip olduğu ve inşaat sektöründe ekonomik fayda sağlayabilecek hafif bir malzeme olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Vaou ve Pnias (2010), geopolimerizasyon teknolojisi kullanarak, perlit ham maddesiyle ısı yalıtım malzemesi üretmiştir. Hidrojen peroksit, malzemenin köpürtülmesi ve gözeneklerin oluşması için kullanılmış ve eklenen hidrojen peroksitin, üretilen ısı yalıtım malzemesinin ısıl özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları, geliştirilmemiş perlit kullanılarak üretilen geopolimer köpüklerin yalıtım malzemesi için uygun olduğunu göstermiştir. Elde edilen ısı yalıtım malzemenin ısı iletim katsayısı 0,03 W/m.K olarak ölçülürken, basınç dayanımı, 780 kPa'da %2 deformasyon göstermiştir. Malzeme, DIN4102 standardına göre A1 sınıfı yanmaz bir malzeme olarak sınıflandırılmıştır. Maksimum uygulanma sıcaklığı, 700 °C olarak belirlenmiştir.

Zukowski ve Haese (2010) tarafından yürütülen çalışmada, perlit dolgulu modern dikey delikli duvar ünitelerinin ısıl özellikleri incelenmiştir. Yapılan sayısal hesaplamalar ve ölçümlerle yeni içi boş tuğlaların ısıl özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden perlit ile doldurulmuş tuğlaların, yüksek ısıl dayanım sağladığı ve ek bir yalıtım katmanı gerektirmeden kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Yapıcı vd. (2011), MDF panellerin yüzeylerini farklı oranlarda perlit malzemesi ile kaplayarak bu yeni ürünün ısı iletim katsayısını incelemişlerdir. Genleştirilmiş perlit içermeyen MDF panellerin ısı iletim katsayısının 0.222 W/m.K olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, genleştirilmiş perlit ilavesinin ürünün ısı iletim katsayısında önemli değişikliklere neden olduğu, genleştirilmiş perlit ilaveli numunelerin ısı iletim katsayılarının 0.197 ile 0.222 W/m.K aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. %1 genleştirilmiş perlit ile kaplanan panel, en düşük ısı iletim katsayısına sahip numune olmuştur.

Şengül vd. (2011), genleştirilmiş perlit içeren hafif betonun ısıl iletkenlik değerlerinin ve mekanik özelliklerinin değişimini araştırmışlardır. Yoğunluğu 700 ile 2000 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen genleştirilmiş perlit agregası doğal agregaya yerine kullanılmıştır. Genleştirilmiş perlit agregası oranının artmasıyla basınç dayanımı ve elastisite modülünün arttığı, doğal agregaya yerine %80 oranında genleştirilmiş perlit agregasının kullanılmasıyla ısıl iletkenlik katsayısının 0.6 W/m.K değerinden 0.13 W/m.K değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Gandage vd. (2013), genleştirilmiş perlitin kendiliğinden sıkışan betonun ısıl özelliklerine etkisini incelemiştir. Çimento yerine uçucu kül, ince kum yerine genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Isıl iletkenlik katsayısının ölçüldüğü çalışmada uçucu kül ve perlit kullanımının malzemenin yoğunluğunu azalttığı, tüm sıcaklık aralıklarında ısıl iletkenlik katsayılarını azalttığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklardaki ısıl iletkenlik katsayısı, düşük sıcaklıklardaki ısıl iletkenlik katsayısına göre daha düşük ölçülmüştür. Deneyler sonucunda en düşük ısıl iletkenlik katsayısı %20 uçucu kül ve %10 perlit malzemesinin kullanıldığı karışımda 70-80°C arasında 0.715 W/m.K olarak ölçülürken aynı sıcaklık aralığında %100 çimentolu karışımlarda ısıl iletkenlik katsayısı 1.14 W/m.K olarak ölçülmüştür.

Alam vd. (2014), tarafından yürütülen çalışmada, vakum yalıtım paneli dolgusu için dumanlanmış silikaya alternatif olarak daha ekonomik olan genleştirilmiş perlit kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Genleştirilmiş perlitli kompozitin ısıl ve fiziksel özellikleri, radyasyon iletimi, gaz iletkenliği ve ısı iletkenliği atmosferik basınçta ve 0,5 mbar basıncında incelenmiştir. VIP panel örneklerinin boyutları 100x100 mm olarak belirlenmiş ve içerdikleri farklı oranlarda genleştirilmiş perlit, silis dumanı, silikon karbür ve polyester elyaf gibi bileşenlerle kompozitler oluşturulmuştur. Panel dolgusunda %60 genleştirilmiş perlit içeriğiyle yapılan ölçümlerde, ısı iletim katsayısı atmosferik basınç altında 53 mW/m.K olarak belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlit oranı %30'a düşürüldüğünde ise, ısı iletimi 28 mW/m.K olarak ölçülmüştür. Araştırma sonuçları, vakum yalıtım panellerinin maliyetlerinde %20'ye varan bir azalma sağlanabileceğini göstermiştir.

Lu vd. (2014), genleştirilmiş perlitin gözenekli yapısına parafinin emdirilmesiyle; iyi bir ısı enerji depolama kapasitesine, ısıl kararlılığa ve güvenilirliğe sahip kararlı bir malzeme üretmişlerdir. Araştırma sonuçları, genleştirilmiş perlit ve parafin arasında kimyasal etkileşim olmadığını göstermiştir. Ayrıca, direkt emdirme yöntemi kullanılarak, kompozit içinde parafinin homojen bir şekilde dağıldığı ve sıvı sızıntısının olmadığı belirlenmiştir. Bu kompozit yapının, binalarda ısı enerjisinin depolanması için büyük bir potansiyele sahip olduğu ortaya konmuştur.

Tsaousi vd. (2015), perlit atıkların hammadde olarak kullanıldığı köpüklü jeopolimerik levhalar geliştirmişlerdir. Bu yeni hafif malzeme türü, jeopolimerizasyon teknolojisi ile köpüklendirme işleminin birleşimine dayanmaktadır. Bu çalışmada biri inorganik, diğeri organik olmak üzere iki köpürtücü maddenin ilavesi araştırılmıştır. İlk durumda köpürtücü ajan, matris farklı içeriklerde eklenen hidrojen peroksit olmuştur (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Ayrıca organik bir yüzey aktif madde de şişirme ajanı olarak çalışılmıştır. Üretilen gözenekli malzemeler, seçilen köpürtücü maddeye ve köpürtücü maddenin içeriğine bağlı olarak 450–1.050kg/m<sup>3</sup> arasında etkili yoğunluklara ve 0,085–0,15W/m.K ısı iletkenliğine sahiptir. Diğer hafif köpüklü malzemelerle karşılaştırıldığında perlitten elde edilen optimum köpük levhaların, mevcut gözenekli beton bloklarla benzer görünür yoğunluğa ve daha iyi termal iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüş ve bu da malzemeyi hafif inşaat malzemeleri için uygun kılmıştır.

Oktay vd. (2015), yüksek dayanımlı, hafif ve iyi ısıl özelliklere sahip yeni çimento esaslı malzeme üretimine yönelik deneysel inceleme yapmıştır. Betonda doğal kum yerine kısmi olarak perlit kullanımının ısıl iletkenliği azalttığını bildirmişlerdir. Hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında perlit parçacıkları içeren betonların 28 günlük ısıl iletkenliğinde %22,96, %38,01, %64,23, %74,36 ve %81,48 azalma meydana geldiği bildirilmiştir.

Binici ve Kalaycı (2015), yapmış oldukları çalışmada perlitli yalıtım malzemesi üretiminde kullanmışlardır. Kaplama dolgu malzemesi olarak kalsit yerine daha az ağırlıklı pomza, diyatomit ve vermikülit kullanılarak ısı

yalıtım katsayısı incelenmiştir. Boşluk oranını arttırmak için alüminyum, sodyum hidroklorür ve hava sürükleyici katkıların reaksiyonundan yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda, perlit esaslı malzemenin ısı yalıtım katsayısı 0,189-0,0618 aralığında bulunmuştur. Genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça özgül kütle yoğunluğu azalmış, betondaki hava miktarı artmış ve bunun sonucunda ısı iletim katsayısı düşmüştür. Dolgu kaplaması olarak kalsit yerine daha hafif pomza, diyatomit ve vermikülit kullanılması numunelerin ağırlıklarının azaltılmasına ve ısı iletiminin olumlu yönde sağlanmasına destek olmuştur. Kireç yerine şeker fabrikası atıklarının kullanıldığı numunelerde ısı iletim katsayısında azalmalar tespit edilmiştir. Sodyum hidroksit ve alüminyum tozu kullanılarak daha fazla porpus örneği elde edilmesi sağlanmıştır. Buna bağlı olarak yalıtım özellikleri daha iyi hale gelmiştir. Genel sonuca bakıldığında, sodyum hidroksit + alüminyum tozu ve hava sürükleyici karışım kullanılarak perlit esaslı ısı yalıtım malzemesi üretilebileceği görülmüştür.

Abidi vd. (2015), alçı kompozit malzemelerde perlit, vermikülit ve çimentonun ısı mekanik davranışını ve yangından koruma özelliklerini deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmıştır. Vermikülit ilavesiyle birlikte ısı iletim katsayısı %5 ve %25 oranlarında sırasıyla 0,50 W/m.K'den 0,45 W/m.K'e ve 0,23 W/m.K'e düşerken, çimento ilavesiyle de ısı iletim katsayısının benzer şekilde azaldığı görülmüştür. Ancak, perlit ilavesiyle ısı iletim katsayısı daha belirgin şekilde düşmüştür. Perlit ilavesinin, vermikülit ve çimentoya kıyasla kompozitin ısı yalıtım kalitesini daha fazla artırdığı görülmüştür. Ayrıca, perlit ilavesinin gözeneklilik oranını artırarak malzemenin yalıtım özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Perlit tabakaları arasında sıkışan suyun ise kompozitin ısı iletim katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir. Üç fazlı kompozit, yangına dayanıklılık testlerinde istenen sıcaklık değerlerinden önemli ölçüde daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşarak etkili bir yalıtım malzemesi olduğunu kanıtlamıştır.

Maaloufa vd. (2016), genleştirilmiş perlit ilaveli tuğlaların ısı özelliklerini kalsinasyon etkisi altında incelemişlerdir. Tuğlaların yoğunluğu genleştirilmiş perlit ilavesiyle 2029 kg/m<sup>3</sup>'ten 1450 kg/m<sup>3</sup>'e düşerken yoğunluktaki bu azalmadan dolayı ısı iletim katsayısı da 0.51 W/m.K'den 0.38 W/m.K'ye düşmüştür. Ardından, bu numunelere kalsinasyon işlemi uygulanmış ve yoğunluk değeri 1374 kg/m<sup>3</sup>'e, ısı iletim katsayısı değeri ise 0.258 W/m.K'ye düşmüştür. Böylece, mevcut tuğlalara genleştirilmiş perlit ilavesi yapılarak daha etkili bir ısı yalıtım malzemesi elde edilmiştir.

Argunhan ve Oktay (2016), s/ç oranı sabit 6 takım beton numuneleri hazırlamış olup normal agregaların yerine %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 gibi farklı miktarlarda genleştirilmiş perlit agregaları koymuşlardır. Numunelerinin termal özellik değerlerini belirlemek için mekanik ve termal testlerin tümü yapılmış ve sıcak disk yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları, perlit içeriğinin artmasıyla birlikte basınç dayanımının ve yoğunluğunun azaldığını, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin ise oldukça arttığını göstermiştir. Deney sonuçlarına göre, perlit ilave edilmeden üretilen numunenin ısı iletim katsayısı 2,075 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> iken, %60 oranında perlit agregası kullanılarak üretilen numunenin ise ısı iletim katsayısının 0,520 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> olduğu belirlenmiştir. Perlit içermeyen beton numunesinde ultra ses geçiş hızının 4.673 km/s olduğu tespit edilirken, perlit ilave edilen betonun maksimum ultra ses geçiş hızının 3.067 km/s olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, üretilen numunelerin ısı iletiminde [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] ve ultrasonik darbe hızında [km/s] %75 ve %35'e varan azalmaların olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda, perlitin hafifliği ve yüksek ses yalıtımı özelliği dolayısıyla, yapıların iç kısımlarından dış çevreye ısı kaybının önemli ölçüde azalacağı, böylelikle enerji tasarrufu sağlanacağı ve enerjinin ithal edildiği ülkelerde daha verimli bir enerji kullanımının gerçekleştirileceği öngörülmüştür.

Kong vd. (2017), parafin ve perlit içeren yeni bir kompozit faz değişim malzemeli duvar paneli üretmiştir. Termal özellik, iç mikro yapı ve mekanik özellik dahil üzere özellikler, diferansiyel taramalı kalorimetre, taramalı elektron mikroskobu ve elektronik üniversal test makinesi ile karakterize edilmiştir. Üretilen yeni panelin kompakt ve sağlam bir mikro yapıya, iyi bir dayanıklılığa ve tokluğa sahip olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlardan üretilen duvar panelinin tatmin edici bir termal performans sergilediği görülmüştür.

Ahmadi vd. (2018), genleştirilmiş perlit, doğal zeolit, öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu ve kilin farklı kombinasyonlarından yapılan kil tuğlaların özelliklerini araştırmıştır. Kilin %15 öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu, %15 zeolit ve %50'ye varan miktarlarda genleştirilmiş perlit ile değiştirilmesinin tuğla özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, tuğlaların karışım oranı parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak analiz edilmiş, yoğunluk, ağırlık kaybı, büzülme, görünür gözeneklilik, su emme, donma ve çözölmeye karşı direnç, basınç dayanımı, ısı iletkenlik ve pişmiş tuğlaların mikroyapısal analizi dahil üzere tuğlaların çeşitli özellikleri incelenmiş ve tuğlalar için standart gereklilikleriyle karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçlar, yukarıda

belirtilen katkı maddelerini içeren tuğlaların standart gereksinimlerini karşılarken normal tuğlalara göre daha düşük ısı iletkenliğine sahip olduğunu ve bu nedenle ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Nechita ve Mita Ionescu (2018), geliştirilmiş perlit ve lignoselülozik kalıntıların inşaat sektöründe olası uygulamalarla kompozit malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kompozit malzeme numuneleri laboratuvarından alınmış ve yapı malzemelerinin ısı iletkenlik/direnç, su emme kapasitesi, görünür yoğunluk gibi temel spesifik özellikleri ve taramalı elektron mikroskopu ile görüntü analizleri açısından karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kompozit numunelerin ısı iletkenlik değerlerinin, şu anda bina ısı yalıtımında kullanılan malzemelere benzer şekilde 0,05 ile 0,11 (W/mK) arasında olduğunu ortaya koymuştur.

Fenoglio vd. (2018), farklı oranlara perlit esaslı sıvaların hidrotermal performansını ve çevresel etkilerini araştırmıştır. Perlit içeriği ile termal özellikler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla, ısı akış ölçer cihazı yardımıyla malzeme ölçüğünde bir dizi analiz yapılmıştır. Dört sıva karışımının ısı iletkenlik değerleri 0,118 W/mK ile 0,059 W/mK arasında değişmekte olup, bu da perlit konsantrasyonunun ısı iletkenliğin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Perlit konsantrasyonunun artması ile ısı iletkenliği azalma göstermiştir.

Demir vd. (2018), geliştirilmiş perlitten yüksek ısı izolasyonlu yapı malzemeleri üretmeyi amaçlamışlardır. Ana hammadde olarak farklı tane boyutuna sahip geliştirilmiş perlit agregaları kullanılmıştır. Perlit, hafif ve gözenekli bir yapıya ve higroskopik özelliklere sahip olduğundan bu özelliklerin önlenmesi için hidrofobik polimer ve organik veya mineral asit katkı maddeleri kullanılarak püskürtme yöntemi ile yüzeyi kaplanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise perlit agregaları belirli miktarda sodyum silikat çözeltisi ile karıştırılarak kalıpta şekillendirilmiştir. Çalışmaya sonucunda kaplanmış geliştirilmiş perlit kullanılarak ısı iletkenlik sabiti 0,060 W/mK'den düşük yalıtım ürünleri üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Alyousef vd. (2019), perlit agregası, doğal kum ve mermer atıklarından elde edilen kum esaslı yeni yalıtım hafif beton blok zeminin üretmek amacıyla çalışma gerçekleştirmiştir. Hazırlanan numunelerin, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, özgül ısı kapasitesi, ses azaltımı gibi farklı özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, mekanik özelliklerin ve ısı yalıtımının önemli ölçüde iyileştiğini, sonuçların umut verici olduğunu ve mevcut yalıtım bloğu zeminine kompozit döşemelerde kullanılma fırsatı vereceğini göstermiştir.

Raji vd. (2019), hafif kompozitlerde alternatif malzeme olarak perlit (ham ve geliştirilmiş) kullanılması ile ilgili çalışma yapıp, perlit yapısının (ham veya genişletilmiş) ve konsantrasyonunun (ağırlıkça %0-20) polipropilen bazlı kompozitlerin morfolojik, termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Kompozitler ekstrüzyon-basınçlı kalıplama yoluyla üretilmiş ve üretilen kompozitler standart yöntemler kullanılarak test edilmiştir. Takviye içeriğinin etkisi ve her bir parçacığın oranı, morfolojik (SEM), mekanik (gerilme), reolojik (kesme) ve termal (DSC) özellikler aracılığıyla incelenmiştir. Genel olarak kompozitin mekanik özelliklerinin ve termal stabilitesinin perlit malzemesinin ilavesiyle iyileştiği gözlemlenmiştir. Ham perlit takviyeli kompozitlerin Young modülü, katkısız kompozite kıyasla %41 artmıştır.

Gao vd. (2019), perlit artıkları kullanılarak enerji tasarrufu sağlayan ve çevre dostu bir yöntemle yeni bir tür hafif köpüklü ısı yalıtım malzemesi üretmişlerdir. Perlit/sodyum silikat, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve setiltrimetilamonyum bromür dahil olmak üzere her bir ham maddenin etkisi ve taş yünü'nün fiziksel özellikleri (gözenek karakterleri, ısı iletkenlik ve mekanik dayanım gibi) detaylı olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimize edilmiş köpüklü malzemeler, düşük yoğunluk (0,1–0,2 g cm<sup>-3</sup>) ve nispeten yüksek mekanik dayanım (0,09–0,6 MPa), düşük ısı iletkenlikleri (0,040–0,060 W/m.k) göstermiştir. Bildirilen diğer inorganik termallerle karşılaştırıldığında yalıtım malzemelerine göre bu yeni tip ısı yalıtım malzemesi çok hafif ve çok daha iyi ısı yalıtım performansı sergilemiştir. Bu nedenle, bu çalışma yalnızca umut verici yanıcı olmayan yalıtım malzemeleri elde etmek için yeni bir enerji tasarrufu yöntemi önermekle kalmayarak, aynı zamanda katı atık kullanımı sorununu da çözmüştür.

Kabay ve Kızılkant (2019), geliştirilmiş perlit kullanarak hafif ve yüksek ısı yalıtım özelliklerine sahip blokların üretimini hedeflemiştir. Bu amaçla, çimento ve uçucu kül gibi bağlayıcılar kullanılarak su/bağlayıcı oranı 0,40 olan plak elemanlar üretilmiş ve perlitin hacimce farklı oranlarda (%40, %50 ve %60) kullanıldığı bloklar elde edilmiştir. Fiziksel ve mekanik deneyler, perlit agregasının blok üretiminde etkili bir malzeme olduğunu göstermiş, aynı zamanda çimento yerine %50 oranında uçucu kül kullanımının bloğun performansını önemli ölçüde etkilemediğini ve daha az çimento kullanımıyla daha çevreci bir ürün elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu

çalışma kapsamında üretilen geliştirilmiş perlit agregalı blokların fiziksel ve mekanik özellikleri incelendiğinde, gaz beton ile rekabet edebilecek nitelikte olduğu ve özellikle su emme ve ısı iletim katsayısı açısından daha üstün performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Bozkurt ve Demirkale (2020), sıva tabakasında ses yutma katsayısının artırılmasını araştırmıştır. Bu kapsamda hafif agrega tipinin (perlit) ses yutma katsayısına etkisi, polipropilen lif katkısının, keten lifi katkısının ve kırıntı kauçuğu katkısının ses yutma katsayısına etkisi etkileri incelenmiştir. Hafif agrega tipi (perlit) kullanımının ses yutma katsayısını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

Davraz vd. (2020), ham perlitten hafif, yeterli basınç dayanımına sahip, ısı iletkenliği ve yanmazlık özelliği düşük monolitik ısı yalıtım malzemesi üretimini araştırmıştır. Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kaba ve ince ham perlit tozu, kimyasal katkı maddesi olarak ise sodyum hidroksit ve köpük oluşturuucu madde kullanılmıştır. Dolgu maddeleri ve kimyasal katkı maddeleri farklı oranlarda kullanılmıştır. Üretilen numunelerin basınç dayanımları ve ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, monoper numunelerin görünür yoğunlukları ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki matematiksel ilişki ortaya konmuştur.

Akyüncü ve Şanlıtürk (2021), polimer kaplı ve kaplanmamış geliştirilmiş perlit agregasının, harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda polimer kaplanmış ve polimer kaplanmamış geliştirilmiş perlitin sırasıyla %0, %20, %40, %60 ve %80 oranında referans kumu ile değiştirilmesiyle harç üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen harç numunelerinin birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, su emme, ultrasonik darbe hızı (UPV) ve ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir. Sonuçlar, harç numunelerinin birim ağırlığının geliştirilmiş perlit miktarı arttıkça azaldığını ancak fiziksel ve mekanik özelliklerinin de değiştiğini göstermiştir. Kaplamasız ve kaplamalı perlit katkılı harç numunelerinin birim ağırlığı azaldıkça basınç ve eğilme dayanımları da azalmıştır. UPV test sonuçlarına göre geliştirilmiş perlitin miktarı arttıkça ses iletimi azalmıştır. Kaplamalı perlit katkılı harç numuneleri kaplamasız harç numunelerine göre ses yalıtımı açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. ısı iletkenlik 0,91 ile 2,36 W/mK arasında değişiklik gösterirken, perlit oranı arttıkça ısı iletkenliği azalmıştır. Polimer kaplı seride birim ağırlık ile ısı iletkenlik arasında daha güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Polimer kaplı geliştirilmiş perlitin kumla değiştirilmesi, harç numunelerinde daha düşük su emme, ses iletkenliği ve termal iletkenlik katsayılarıyla sonuçlanmıştır.

Altuncu vd. (2021), yüzey kaplama ve tesviye amacı ile kullanılan şap harcı üretiminde geliştirilmiş cam agregası ve geliştirilmiş perlit agregası kullanarak şap harçları üretmiş ve şap harcı malzemesinin birim hacim ağırlığının azaltılmasını, ısı ve ses izolasyon performanslarının artırılmasını hedeflemiştir. Bu amaçla inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan 4 tip çimento kullanılarak, geliştirilmiş cam agregası (0.25-0.5 mm) ve geliştirilmiş perlit agregası (0.25-0.5 mm), CEN standart kumu yerine %0, %15 ve %30 oranlarında ikame edilmiştir. Elde edilen ikameli şap numunelerinde yoğunluk, ısı ve ses izolasyon performans özellikleri deneyler ile belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ikame oranı artışı ile örneklerin yoğunluklarının azalmasına bağlı olarak ses yutma kapasitelerinin arttığı ve ısı iletkenlik değerlerinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geliştirilmiş perlit agregalı şap harçlarının hem ses yutma kapasitelerinin hem de ısı iletkenlik performanslarının geliştirilmiş cam agregalı şap harçlarından az da olsa daha üstün olduğunu gözlemlenmiştir.

Rashad vd. (2021), alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarına dayalı, herhangi bir köpürme/şişirme maddesi içermeyen, uygun basınç dayanımı ve düşük ısı iletkenliği arasında iyi bir denge sağlayan yalıtım malzemeleri üretmeye çalışmışlardır. Geliştirilmiş perlit hafif ince agrega olarak kullanılmıştır. Alkali ile aktive edilmiş cüruf hafif harçlar için hacimce 1/2, 1/4 ve 1/6 gibi farklı bağlayıcı/geliştirilmiş perlit oranları kullanılmıştır. Bağlayıcı/silisli kum oranı 1/2 olan geleneksel Portland çimentosu harcı ve bağlayıcı/silisli kum oranı hacimce 1/2 olan alkali ile aktive edilmiş cüruf harcı karşılaştırma amacıyla hazırlanmıştır. Daha yalıtkan malzemeler elde etmek için, 1/6 bağlayıcı/geliştirilmiş perlit oranı içeren karışımdaki cüruf kısmen %50 sadece metakaolin ve %50 sadece uçucu kül ile değiştirilmiştir. Tüm harç tipleri için yığın yoğunluğu, basınç dayanımı, toplam porozite, termal iletkenlik ve termal direnç ölçülmüştür. Numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, düşük ısı iletkenlikleri (0.995-0.158 W/mK), düşük yoğunlukları (2080-670 kg/m<sup>3</sup>), yüksek toplam gözeneklilikleri (%24.22-75.1) ve kabul edilebilir basınç dayanımları (21.6-5 MPa) olan iyi yalıtım malzemelerinin herhangi bir köpürtücü madde eklenmeden üretilebileceğini göstermiştir.

Lin vd. (2021), geliştirilmiş perlitin ahşap-magnezyum kompozitlerine doldurulmasıyla genişletilmiş perlit /ahşap-magnezyumdan oluşan yeni bir ısı yalıtım kompoziti hazırlanmıştır. Bu kompozitlerin mekanik

özellikleri, donma direnci, ısı yalıtım performansı, alev geciktiriciliyi ve duman bastırma özellikleri taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınım spektroskopisi ve koni kalorimetresi ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, 60-70 mesh genişletilmiş perlit ile doldurulmuş genişletilmiş perlit /ahşap-magnezyumdan oluşan kompozitler için kopma ve elastikiyet modülü ile yumuşama katsayısının belirgin bir şekilde arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, bu malzemelerin kalınlık şişmesi önemli ölçüde azalmıştır. Magnezyum çimentosunun hidrasyon ürünlerinin toplanmasıyla inorganik bir ağ yapısının oluştuğu ve bunun da kompozit mukavemetini ve su direncini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu olumlu sonuçların perlit /ahşap-magnezyumdan oluşan kompozit malzemelerinin hizmet ömrünü etkili bir şekilde uzattığı ve ıslak koşullarda kullanım alanlarını genişlettiği belirtilmiştir. Gözlemlenen mükemmel alev geciktirici ve duman bastırma performanslarının, bu kompozitleri dış veya iç duvarlar için ideal yapı yalıtım malzemeleri haline getireceği belirtilmiştir.

Nastac vd. (2022), genişletilmiş perlit ve kolza sapı atığı ile güçlendirilmiş doğal polimer matris bazlı bir kompozit malzemenin ses geçirmezlik özelliklerine ilişkin deneysel bir çalışma yapmışlardır. Farklı genişletilmiş perlit oranlarına ve kolza tohumu atığına sahip dört kompozit örneğini ele almışlardır. Ses yalıtım özelliklerinin değerlendirilmesi için dört mikrofonlu akustik empedans tüpüne dayalı transfer matrisi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen kompozitin gerçek malzemelere kıyasla karşılaştırılabilir ses yalıtım özelliklerini sağladığını göstermiştir. Ayrıca perlit içeriğinin artmasıyla daha iyi ses emilim performansı ve su emilim özellikleri elde edilmiştir. Bu malzemelerin mevcut yalıtım malzemelerine uygulanabilir bir alternatif olarak ve ses yalıtımında olası uygulamalarla umut verici olduğu belirtilmiştir.

Petrella vd. (2022), farklı uzunluk ve dozajda buğday samanı ve agrega olarak perlit tanecikleri içeren çevresel açıdan sürdürülebilir çimento harçları hazırlamıştır. Hazırlanan harçlar reolojik, termal, akustik, mekanik, optik ve mikroyapısal testlerle karakterize edilmiştir. Geleneksel kum; tamamen saman, tamamen perlit, son olarak inorganik ve organik agrega karışımı (Perlit/Saman) ile değiştirilip kompozitler karakterize edilmiş ve geleneksel kum harcının özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Fiziksel ve mekanik sonuçlara dayanarak, bu hafif kompozitler için yapısal olmayan iç mekân uygulamalarının (örn. paneller, sıvalar) düşünülebilir olduğu belirtilmiştir.

Çelik ve Durmuş (2022), alkali aktivatör çözeltisi kullanılarak ultra hafif genişletilmiş perlit bazlı ısı yalıtım paneli geliştirmiştir. Genleştirilmiş perlit parçacık boyutu dağılımının, NaOH konsantrasyonunun ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  oranının karışımların termal performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Panellerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin 49,19 ile 66,97  $\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  aralığında değiştiği, termal iletkenlik, yoğunluk ve basınç dayanımı arasında doğrudan orantılı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan geliştirilmiş perlit bazlı ısı yalıtım panelinin, TS825 Isı Yalıtım Standardına göre inşaat sektöründe yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği öngörülmüştür.

Anuja vd. (2022), perlit ilavesiyle birlikte beton numunelerinin mukavemetlerinin ve akustik davranışlarının iyileştirilebilmesi için sahip olması gereken optimum perlit dozajının belirlenmesi için çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar betonda çimento yerine %5 perlit ikamesiyle betonun akustik davranışının %26,12 oranında iyileştirildiğini göstermiştir. Ayrıca betonda yeterli mukavemete sahip olmak için, %30 öğütülmüş granüle yüksek cüruf kısmen çimento yerine kullanılmış ve böylece mukavemet %12,5 oranında iyileştirilmiştir. Sadece perlit içeren panelin ses iletiminin %44,02 oranında azaldığı, geleneksel panelin ve perlit ve öğütülmüş granüle yüksek cüruf içeren panelin ise sırasıyla yaklaşık %24,04 ve %39,04 oranında azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. Ses seviyesinde meydana gelen bu değişimin betonun artan gözenekli yapısı olduğu belirtilmiştir. Artan gözenek miktarıyla ses seviyesinde meydana gelen azalma o kadar yüksek olmuştur. Bu tip betonların yük taşımayan elemanlar için kullanılabilir olduğu, böylece yapıların maliyetini arttıran ses geçirmez elemanlar veya sıvalarla ilave kaplama yapılmasına gerek kalmayacağı, üretilen kompozitin ses yalıtımı yapmak için önceden dökülmüş yalıtım panelleri, tuğlalar, fayanslar vb. elemanlarda binalarda çeşitli uygulamalarda kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Makrygiannis ve Tsetsekou (2022), tuğla numunelerinde geliştirilmiş perlit malzemesini katkı malzemesi olarak kullanarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Farklı oranlarda gelişmiş perlit içeren üç farklı karışım üretmişlerdir. Her karışımında, üç farklı vakum değeri kullanılmıştır. Oluşturulan tuğla numuneleri aynı koşullarda kurutulmuş, pişirilmiş ve eğilme mukavemeti, yoğunluk ve ısı yalıtımı gibi özellikleri altı farklı tepe sıcaklığı için toplanmıştır. Oluşturulan her karışımın ısı yalıtım katsayısı hesaplanmıştır. Diğer parametreler sabit tutulduğunda perlit ilavesinin ürünlerin yoğunluğunda %2,9'dan %7,1'e kadar ve ısı iletkenlik katsayısında %5,4'ten %9,5'e kadar azalmalara yol açtığı bulunmuş, gelişmiş perlitin çok iyi bir gözenek oluşturucu malzeme olduğunu



doğrulanmıştır. Eğilme mukavemeti de %18'den %28'e kadar azalmıştır, ancak tüm durumlarda kabul edilen minimum 100 kp/cm<sup>2</sup> değerinin oldukça üzerinde kalmıştır.

Benjeddou vd. (2023), mermer atıklarının ezilmesiyle elde edilen kumun ve geliştirilmiş perlit agregasının hafif betonlarda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaç doğrultusunda perlit agregası yüzdeleri (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) değiştirilerek farklı beton karışımları hazırlanıp, elde edilen beton numunelerinin termal ve akustik özellikleri (ısı iletkenlik, ısı yayılım, özgül ısı kapasitesi ve farklı frekanslarda ses azaltma indeksi) araştırılmıştır. Geliştirilmiş perlit agregasının yüzdesi arttıkça beton numunelerinin toplam gözenekliliğinin arttığı, beton numunelerin birim ağırlığının düştüğü bulunmuştur. Geliştirilmiş perlitin betona ilavesiyle ısı yalıtım değeri artış göstermiştir. Test edilen beton numuneleri; %20'den yüksek geliştirilmiş perlit agregası yüzdesine sahip ısı yalıtımlı hafif beton kategorisi ve %20 geliştirilmiş perlit agregası yüzdesine sahip yalıtımsız normal betonun kategorisi olmak üzere iki kategoriden oluşmuştur. Sonuçlar, mermer atıklarının ezilmesiyle elde edilen kum ve geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak ısı ve ses yalıtımı sağlayan hafif beton elde etmenin mümkün olduğunu, geliştirilmiş perlit agregası içeriği %20'den fazla olan beton karışımlarının, akustik yalıtım hafif beton kategorisine yerleştirilebilir olduğunu ortaya koymuştur.

Guijarro-Miragaya vd. (2023), inşaat sektöründe uygulanması amaçlanan yeni bir sıva malzemesinin fizikokimyasal ve mekanik karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir. Geliştirilen sıva malzemesi, bileşiminde potasyum poliakrilat ve perlit içermekte olup, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ahşap, cam ve polipropilen elyaflarla güçlendirilmiştir. Sonuçlar, potasyum poliakrilat ve genişletilmiş perlitin bir arada kullanılmasının, geleneksel sıvalara kıyasla yoğunluk değerinde %10,5, ısı iletkenliğinde ise %47 oranında bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Ayrıca, takviye elyaflarının, özellikle cam elyafın, alçı matrisine dahil edilmesi, yeni malzemenin mekanik mukavemetini artırmıştır.

Bozkurt ve Ramazanoğlu (2023), sıfır enerjili bina hedeflerine yönelik olarak pomza taşı ve geliştirilmiş perlit malzemeleri kullanarak şap tasarlamışlardır. Bu amaçla günümüzde kullanılan geleneksel şap çeşidini temsil edecek ve çalışmada kontrol örneğini temsil edecek şap için dere kumu ile üretilmiş şap çeşidi üretilmiştir. Pomza taşı ve geliştirilmiş perlit malzemeleri içeren 8 farklı karışım üretilmiştir. 28 günlük kürlenme sürecinden sonra bu 9 farklı şap örneğine ultrasonik ses hızı (USH), basınç dayanımı ve ısı iletkenlik testleri uygulanarak mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan test sonuçları sektörde kullanılan şaplara göre pomza ve geliştirilmiş perlitli şap üretiminin mümkün olduğunu göstermiştir. Ancak geliştirilmiş perlit kullanımı ile basınç dayanımı azalırken, ses ve ısı iletim katsayısı değerlerinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Isı iletkenlik test sonucu incelendiğinde en yüksek değer kontrol örneğinde (0,441 W/m.K), en düşük değer ise (0,191 W/m.K) ve (0,105 W/m.K) perlit serisinde elde edilmiştir.

Acar vd. (2023), ham perlit ve standart kumun alkali aktivasyonuna dayalı çimentosuz macun ve çimentosuz harçların üretilmesini amaçlamışlardır. Çimentosuz macun ve harç üretiminde bağlayıcı malzeme olarak perlit ve alkali aktivatörler (NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Ayrıca köpürtücü olarak hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) kullanılarak hafif macunlar ve harçlar üretilmiştir. Farklı su/perlit ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/perlit oranlarında geopolimerler üretilerek ısı iletkenlikleri, görünür yoğunlukları, basınç ve eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgular, karışımlara %0,25 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (perlitin kütlesine göre) eklenmesinin, nihai mukavemette önemli bir kayıp olmaksızın, daha düşük yoğunluklu ve daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip hafif macun ve harçların üretilmesine olanak sağladığını ortaya koymuştur. Geliştirilen perlit bazlı havalandırılabilir geopolimerin, binalara yönelik çevre dostu ve enerji tasarruflu bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Sonuçlara göre hem macun hem de harçlarda %0,5'in üzerinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/perlit ve %45'in üzerinde su/perlitten kaçınılması gerektiği belirtilmiştir. İşlenebilirlik, mukavemet, yoğunluk ve ısı iletkenlik açısından optimum sonuçların alınabilmesi için tüm numunelerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/perlit oranının %0,25, su/perlit oranının ise %40 olması tavsiye edilmiştir.

Zou vd. (2024), önceki araştırmalara dayanarak, çeşitli malzemelerin beton bloklarla nasıl birleştirilebileceğinin ve hafiflik, ısı koruması, ses yalıtımı ve ışık geçirgenliği gibi özelliklerin detaylı araştırmasını yapmışlardır. Farklı ses yalıtım ve ısı yalıtım malzemelerinin beton bloklara eklenmesinin avantajları ve dezavantajları analiz edilerek en iyi performansa sahip ses yalıtım ve ısı yalıtım malzemesini seçmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda basınç dayanımı deneyi, hafiflik performans deneyi, ısı yalıtımı performans deneyi ve ses yalıtımı performans deneyi sonuçlarını analiz ederek farklı içeriklere sahip betonların performansları kapsamlı şekilde karşılaştırılmışlardır. Isı ve ses yalıtım deneyleri analiz edildiğinde gelişmiş perlit blokların en iyi ses yalıtım ve

ısı yalıtım etkisine sahip olduğu, ancak genişlemiş perlitin basınç dayanımının karşılaştırıldığında en düşük olduğu ve bileşen yapısının kritik noktalarında kullanımından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir.

Çavdaroğlu vd. (2024), genişletilmiş perlitin etilen propilen kauçuk kompozitler için sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir dolgu maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Farklı oranlarda geliştirilmiş perlit, kütleme özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikler, çapraz bağ yoğunluğu, termal iletkenlik, termal kararlılık, yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı gibi kompozit özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için etilen propilen kauçuk kompozitlere dahil edilmiştir. 15 phr geliştirilmiş perlit içeren kompozit yaklaşık %20 daha yüksek çapraz bağ yoğunluğu ve %12 sertlik artışı sergilerken, kopma uzamasında ve çekme dayanımında hafif azalmalar gözlemlenmiştir. Yüzey morfolojisini ve hidrofobisiteyi araştırmak için FE-SEM (alan emisyon taramalı elektron mikroskobu), atomik kuvvet mikroskobu ve temas açısı analizi yapılmıştır. Kompozitlerin termal özellikleri, termogravimetrik analiz, termal yaşlanma testleri ve termal iletkenlik ölçümleri yoluyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilmiş perlitin yaşlanma direncini ve termal kararlılığı önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. 15 phr geliştirilmiş perlit içeren kompozitler, geliştirilmiş perlit içermeyen kompozite kıyasla %21'lik bir termal iletkenlik azalması ve gelişmiş termal izolasyon özellikleri sergilemiştir. Bu çalışma, etilen propilen kauçuk kompozitlerde geliştirilmiş perlitin, kompozitlerin termal izolasyonunu ve kararlılık özelliklerini geliştirmek için sürdürülebilir bir dolgu maddesi olarak kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Wang vd. (2024), vakum emdirme yöntemiyle kaprik-stearik asit /geliştirilmiş perlit kompoziti hazırlamak için faz değiştiren malzeme olarak kaprik-stearik asit, destek malzemesi olarak ise geliştirilmiş perlit kullanmışlardır. Enerji tasarruflu binalarda kaprik-stearik asit /geliştirilmiş perlit uygulamasının fizibilitesini araştırmak amacıyla yapılan termal ölçüm sonuçlarına bakıldığında, kaprik-stearik asit /geliştirilmiş perlit kompozitinin harca dahil edilmesinin termal özelliklerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Araştırma bulguları, bu çalışmada geliştirilen kaprik-stearik asit /geliştirilmiş perlit bazlı harcın bina enerji tasarrufu alanında önemli bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Diao vd. (2024), farklı yalıtım malzemelerinin içi boş duvarların enerji tüketimine olan etkilerini teorik ve deneysel olarak analiz etmişlerdir. Duvarların ısı transfer katsayılarını ölçmek için ısı akış ölçer yöntemi kullanılmış ve teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu arada, farklı yalıtım muhafazalarının bina enerji tüketimi sayısal olarak modellenmiştir. Sonuçlar, dolgu malzemesi olmayan Dahlen tuğla boşluk duvarının ısı transfer katsayısının  $1,86 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ile en büyük olduğunu göstermiştir. Dolgu malzemesi olan muhafazadaki silt pişmiş toprak boşluk duvarındaki ısı transfer katsayısı  $0,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  olmuştur. Geliştirilmiş perlit boşluk duvarının ısı transfer katsayısı  $0,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  olmuştur. Pirinç kabuğu boşluk duvarının ısı transfer katsayısı  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  olmuştur. Bu sonuçlar, iyi yalıtım özelliklerine sahip içi boş duvarların geliştirilmesi için bu malzemelerin kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Balbuena vd. (2024), arojel, perlit ve vermikülinin hafif agregalar olarak kullanıldığı özel harçlar hazırlamış ve harçların sıcak ve soğuk koşullar altında termal özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar, hafif agregaların dahil edilmesinin harcın termal yalıtımını iyileştirdiğini, genel olarak, hafif agregaya içeriği arttıkça termal iletkenliğin azaldığını göstermiştir. Arojel içeren numunenin en iyi performansı gösterdiği ve termal iletkenlik değerini neredeyse %75 oranında iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Arojelin en yüksek termal ataleti gösterdiği, en iyi yalıtım performansının ise %15 iyileşme ile vermikülin içeren numunede görüldüğü belirtilmiştir. %10 perlit ve %10 arojel içeren numunede ise hem termal atalet hem de nihai yalıtım kapasitesinde en iyi performans elde edilmiştir. Tek bir hafif agregaya kullanılması durumunda yalıtım kapasitesi  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ulaşırken ve hafif agregaya karışımları durumunda iyileşme  $7,2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar uzamıştır. Soğuk koşullar altında harçların tepkisi farklı olmuştur. Bu durumda, bileşimlerinde en yüksek hafif agregaya içeriğine sahip numuneler en iyi performans göstererek referans harca kıyasla  $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar iyileşme sağlamıştır. Hafif agregalar mekanik dirençlerde bir azalmaya yol açmıştır; ancak tüm durumlarda sıva harcı olarak kabul edilebilecek minimum direnç sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, uygun bağlayıcıların kullanımıyla çeşitli maddelerden kompozit yalıtım malzemeleri üretilebileceği görülmüştür. Bu malzemeler, ısı ve ses yalıtım performansını artırırken, enerji tüketimini makul düzeyde tutarak ve konforlu sağlık koşullarını sağlayarak sürdürülebilir bir niteliğe sahiptir. Ayrıca, yerel kaynaklardan elde edilen malzemelerin kullanımıyla ekolojik dengenin korunabileceği görülmektedir.

**YALITIM MALZEMELERİNDEN BEKLENEN ISIL VE AKUSTİK ÖZELLİKLER****Isıl Özellikler**

Isıl performansı belirleyen temel parametreler arasında, kararlı durumdaki ısı iletim katsayısı ( $k$ ) ve kararsız durumdaki ısı yayılım katsayısı ( $D$ ) bulunmaktadır. Isı iletim katsayısı, homojen bir malzemenin belirli bir kalınlığında sıcaklık gradyanı başına birim alandan geçen ısı akışını ifade eder ve birimi  $W/m.K$ 'dir. Öte yandan, ısı yayılım katsayısı, malzemenin ısıyı iletim kabiliyeti ile depolama kapasitesi arasındaki oranı yansıtarak, ortamdaki ısı dalgalarının yayılmasını tanımlar. Bu katsayı, malzemenin özgül ısı kapasitesi ( $cp$ ), yoğunluğu ( $\rho$ ) ve birimi  $m^2/s$  olarak ifade edilir. Bu açıklamalar, malzemenin kendine özgü özelliklerinden türetilmiş bir niceliği temsil eder (Arslan ve Aktaş, 2018). Isı yalıtım malzemeleri, farklı sıcaklıklardaki iki ortam arasındaki ısı transferini kontrol etmek için kullanılır. Bu malzemelerin en önemli özelliği, ısı iletkenlik katsayısının ( $\lambda$ )  $0.1 W/m^{\circ}C$ 'nin altında olmasıdır. Düşük ısı iletkenlik, ısı yalıtım malzemelerinin temel özelliğidir ve ısı geçişini etkili bir şekilde azaltır (Özer ve Özgünler, 2019). Tablo 2'de ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayı değer aralıkları ve yangın tepki sınıfları verilmiştir.

**Tablo 2.** Farklı Isı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri (Özer ve Özgünler, 2019; Uluer, vd., 2018; Bayraktar ve Bayraktar, 2016)

Isı Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı ( $W/m.K$ )	Yangına Tepki Sınıfı
Genleştirilmiş perlit	0,040-0,065	A1
Ekstrüde polistren köpük levha	0,030-0,040	D-E
Genleştirilmiş polistren köpük levha	0,035-0,040	D-E
Cam yünü	0,035-0,050	A1-A2*
Taş yünü	0,025-0,040	B-C-D**/D-E
Poliüretan sert köpük levha	0,030-0,045	B-C-D
Fenol köpüğü	0,045-0,060	A1-A2
Cam köpüğü	0,035-0,076	B-C-D
Ahşap yünü	0,045-0,055	C-D-E
Genleştirilmiş mantar levha	0,035-0,070	C-D-E
Ahşap lifli levha	0,042-0,050	A1
Gez beton ısı levhası	0,040-0,045	E
Gevşek dolgu selüloz yalıtım	0,040-0,050	E
Kenevir	0,022-0,040	C
Fenolik köpük levha	$\leq 0,0053$	-
Vakum yalıtım paneli		

Tablo 2'de verilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri incelendiğinde inorganik kökenli doğal malzemeler, yapay olanlara kıyasla genellikle daha yüksek bir ısı iletkenlik gösterirler. Diğer taraftan, organik kökenli doğal malzemeler, yapay olanlara göre tipik olarak daha yüksek bir ısı iletkenlik sergilerler. Ancak, ileri teknoloji ürünleri arasında yer alan vakum yalıtım panelleri ve aerogeller, son derece düşük bir ısı iletkenlik gösterirler; ne var ki, yüksek maliyetleri nedeniyle yapı sektöründe pek tercih edilmezler. Yalnızca ısı iletim katsayısı değeri üzerinden ısı yalıtım malzemesi seçmek, hedeflenen sonuçlara ulaşmayı neredeyse imkânsız hale getirir. Yapı içindeki nem ve yoğuşma sorunları göz önünde bulundurulduğunda, ısı yalıtım malzemesinin diğer özelliklere de sahip olması önem kazanır. Dolayısıyla, ısı yalıtım malzemesi seçiminde, ısı performansının yanı sıra dayanıklılık, maliyet, basınç dayanımı, su buharı emilimi ve iletimi, yangına karşı dayanıklılık, uygulama kolaylığı gibi birçok faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Tablo 3'te ısı yalıtım malzemelerinin sahip olmaları gereken özellikler listelenmiştir (Arslan ve Aktaş, 2018).

**Akustik Özellikler**

İnşaat malzemeleri, akustik özelliklerinin incelenmesiyle, ses iletimi ve yankılanma kapasiteleriyle tanımlanabilir. Ses iletimi sırasında, hava kaynaklı ve yapısal (darbe) ses yalıtım yetenekleri önem taşır. Diğer yandan, ses emme kabiliyeti, bir malzemenin içine yayılan akustik enerjinin bir kısmını emme kapasitesi olarak tanımlanır. Gözenekli ses emiciler çoğu zaman etkili ses yalıtımı sağlar, ancak bu her koşulda geçerli değildir. Ses emici malzemelerde, hareketli hava bulunması gerektiğinden açık gözeneklilik kritiktir. Kapalı gözeneklilik ise genellikle ısı yalıtımı için faydalıdır. Ses yalıtım performansı, malzeme kütlesiyle doğru orantılı olarak değişir. Büyük yapılarda, ses yalıtımı genellikle en ağır bileşenlerin performansına dayanır. Ses yalıtım malzemeleri, odaların akustik konforunu

artırarak yankılanma süresini azaltmak için kullanılır. Katlarda ses yalıtımı gerektiğinde, darbe sesi yalıtımı önemlidir. Tablo 4'te, ses yutma ve ses iletim kaybı için belirleyici olan ana malzeme özelliklerinin akustik performans parametrelerine etkisi görülebilir. (Arslan ve Aktaş, 2018).

**Tablo 3.** Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Genel Özellikler (Arslan ve Aktaş, 2018)

Fiziksel İşlevsellik	Dayanıklılık	Ekolojik Uygunluk	Uygulama Kolaylığı	Ekonomiklik
Yüksek ısı tutuculuk	Su ve neme dayanıklılık	Çevre ve ekosistem açısından zararsızlık	Kolay işlenebilirlik	Ucuz ve kolay temin edilebilirlik
Düşük birim ağırlık	Kimyasal etmenlere dayanıklılık	Sağlık açısından zararsızlık	Üzerine uygun katmanların uygulanmasına olanaklılık	
Koşullara uygun buhar geçirimsizliği	Biyolojik etkilere dayanıklılık	Az enerji tüketimi	Sıva tutuculuk	
Yeterli basınç dayanımı	Yangın emniyeti	Bakım gerektirmezlik ve kullanım sonrası değerlendirilebilirlik		
Yeterli çekme dayanımı	İnsan sağlığına ve çevreye zararlı olmaması	Kokusuzluk		
Boyutsal kararlılık	Yanmazlık ve alev geçirmezlik			
Düşük ısı iletim katsayısı	Sıcaklık dayanımı			
Yüksek ısıl direnç	Çürümezlik			
Uygun yoğunluk	Uzun ömürlülük			
	Parazitlere dayanıklılık			
	Buhar difüzyon direnci			
	Mekanik dayanım			

**Tablo 4.** Akustik Performansa Etki Eden Temel Malzeme Özellikleri (Arslan ve Aktaş, 2018)

Mikro yapı özellikleri	Mekanik Özellikler	Gözenekli yapı içerisindeki hava özellikleri	Malzemenin fiziksel özellikleri
Hava akış direnci	Kayıp faktörü	Havanın yoğunluğu	Uygun birim ağırlık
Gözeneklilik	Kayma modülü	Gözenek içerisindeki sesin hızı	Malzeme yoğunluğu
Kıvrımlılık	Young modülü	Havanın vizkozitesi	Kalınlık
Termal karakteristik uzunluk	Poisson oranı	Özgül ısı oranı	Boyutsal kararlılık
Vizkoz karakteristik uzunluk		Prandtl sayısı	
		Hava akış hızı	

## PERLİT

Volkanik patlama sırasında lav hızla soğuyarak cam benzeri bir yapı oluşturmakta ve bu yapıya "volkanik cam" denilmektedir. Perlit, bu volkanik camın özel bir türüdür ve hafif, gözenekli bir malzeme olarak bilinmektedir (Davraz vd., 2020; Baba, 2018; Çelik vd., 2016; Karadayı ve Yüksek, 2016; Binici ve Kalaycı, 2015;). Genellikle 750 ila 1100 °C arasındaki sıcaklıklara ani bir şekilde maruz bırakılarak işlenen ham perlitin genişletilmesiyle oluşturulan genişletilmiş perlit, asidik bir yapıya sahiptir. Ham perlit tanecikleri genişletildiğinde hacimleri yaklaşık olarak 10 ila 30 kat artmakta ve yoğunluğu belirgin şekilde azalmaktadır. Perlitin hacmindeki bu genişleme, malzemenin belirgin bir şekilde artan bir ısıl direnç özelliği kazanmasına neden olmaktadır (Kabay ve Kızılkant, 2019; Oliveiraa vd., 2019; Özer ve Özgünler, 2019; Karadayı ve Yüksek, 2016). Genleştirilmiş perlitin oluşturan bileşenlerin verildiği Tablo 5 incelendiğinde bileşenler arasında nitrat, sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde olmadığı görülmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç genişletilmiş perlitin

kimyasal olarak oldukça saf olduğudur. Bunun yanı sıra geliştirilmiş perlit, organik olmayan bir malzeme olduğundan uzun ömürlüdür ve sahip olduğu üstün özellikleri uzun süre koruyabilmektedir (Uluer vd.,2018).

**Tablo 5.** Geliştirilmiş Perlitin Bileşenleri (Uluer vd., 2018)

Madde	Oran
SiO <sub>2</sub>	71,0-75,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,5-18,0
Na <sub>2</sub> O	2,9-4,0
K <sub>2</sub> O	4,0-5,0
CaO	0,2-0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-1,5
MgO	0,03-0,5

Şekil 1’de görüldüğü üzere geliştirilmiş perlitin beyaz rengi birçok yapı malzemesine estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Ayrıca, pH seviyesi 6.6 ila 8 arasında değiştiğinden, kimyasal olarak nötr bir özellik göstermekte; asit veya bazlardan etkilenmemektedir (Arslan ve Aktaş, 2018; Uluer vd., 2018). Güneş ışınlarından etkilenmeyen ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı olan geliştirilmiş perlit, çürümeye karşı da dirençlidir (Arslan ve Aktaş, 2018). Geliştirilmiş perlit sahip olduğu bu özellikler ile birçok sektörde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe perlit, kiremit yapımında, gevşek dolgu malzemesi olarak, sıva, harç ve beton üretiminde, yapı bileşeni olarak blok, panel ve levha şeklinde kullanılmaktadır (Kabay ve Kızılkant, 2019; Özer ve Özgünler, 2019; Karadayı ve Yüksek, 2016).



**Şekil 1.** Geliştirilmiş Perlit (Ramazanoğlu, 2020)

Geliştirilmiş perlitin dikkate değer bir diğer özelliği ise yüksek sıcaklıklara dayanma ve yanmazlık kabiliyetidir (Bozkurt ve Ramazanoğlu, 2023). Beton gibi diğer yapı malzemeleri genellikle 300 °C’den sonra yapısal bozulma gösterirken, geliştirilmiş perlit yaklaşık 1000 °C (1832 °F) civarındaki yüksek sıcaklıklara kadar dayanabilmektedir. Bu özellik, ısı yalıtım malzemelerinde aranan önemli bir niteliktir (Uluer, vd., 2018). Tam dayanıklılık derecesi, perlitin özelliklerine, kullanımına ve üretim sürecine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Düşük ısı iletkenliği, düşük yoğunluk, yüksek ses emme kabiliyeti, yangın dayanımı şüphesiz ısı yalıtım malzemelerinde aranan en önemli özelliklerdir (Özer ve Özgünler, 2019). Düşük ısı iletim katsayısı, düşük yoğunluk, yanmazlık ve yüksek ses emme özelliği gibi üstün nitelikler, geliştirilmiş perlitin etkili bir yalıtım malzemesi olma potansiyelini arttırmaktadır. Tablo 2 ve 6 incelendiğinde, geliştirilmiş perlitin hem ısı yalıtımı hem de ses yalıtımı için uygun özelliklere sahip olduğu açıkça görülmektedir (Uluer vd., 2018).

Perlit temelli yalıtım panelleri ve teknolojileri incelendiğinde ve sektörde sıklıkla kullanılan diğer yalıtım malzemeleriyle karşılaştırıldığında, bu malzemelerin tutuşma sıcaklıkları genellikle 245°C ile 415°C aralığında değişmektedir. Öte yandan, A1 sınıfı yanmaz geliştirilmiş perlitin yapısındaki bozulma 870°C’den sonra başlarken, 1100°C’de erimektedir. Bu nedenle, yangın durumunda geliştirilmiş perlit, diğer malzemelere göre daha uzun süre dayanabilmekte ve yangının yayılmasını geciktirebilmektedir. Bazı yalıtım malzemelerinin bir diğer dezavantajı da ısı iletim katsayılarının zamanla artmasıdır. Çünkü gözeneklerinde bulunan gazlar zamanla hava ile yer değiştirmektedir. Bunun aksine, geliştirilmiş perlit doğal gözenekli bir yapıya sahip olduğundan, zamanla ısı özelliklerinde bir değişim meydana gelmemektedir. Geliştirilmiş perlit esaslı ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısını, kullanılan bağlayıcı ve kütleme koşulları etkileyebilmektedir. Bunlara ek olarak perlit malzemesi çevre dostu bir seçenek olduğu açıkça görülmektedir (Uluer vd., 2018).

**Tablo 6.** Genleştirilmiş Perlit Agregası Örneklerinin Özgün Özellikleri (Bozkurt ve Ramazanoğlu, 2023; Uluer vd., 2018)

Özellik	Genleştirilmiş Perlit	Birim
Renk	Beyaz	-
Sertlik	5-5,5	-
Ph	6,6-8	-
Özgün kütle	2,3	g/cm <sup>3</sup>
Kuru birim hacim ağırlık	40-220	kg/m <sup>3</sup>
Su emme	40-60	%
Doluluk oranı	1,80-9,60	%
Gerçek porozite	98,2-90,4	%
Zararlı maddeler analizi	Yok	-
Kükürt analizi	0,34	%
Yapısal bozunma	870	°C
Erime noktası	1100	°C
Ateşe dayanım	Yanmaz	°
Ateşe geciktirme	3	sa.
Özgün ısı kapasitesi	0,200-0,215	Kcal/kg °C
Isı iletim katsayısı	0,040-0,065	W/m.K
Ses geçiş katsayısı	0,25	-
Ses yutuculuk	35-40	dB

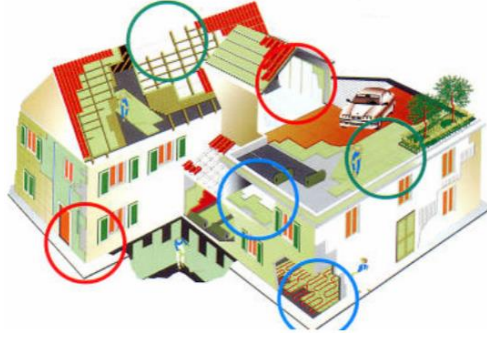
Birçok üstün özelliğe sahip olan perlit malzemesi ülkemizde oldukça bol bulunmaktadır. Dünyadaki toplam perlit rezervi 7.700 milyon ton olup, bunun 5.700 tonu (%74) Türkiye'de bulunmaktadır (Binici ve Kalaycı, 2015). Türkiye sahip olduğu perlit rezervi ile dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır (Kabay ve Kızılkant, 2019). Türkiye, dünyanın en geniş ve kaliteli perlit yataklarına sahip olmasına rağmen Dünyadaki üretimin yaklaşık %3'ünü gerçekleştirmektedir. Hammadde bolluğunun aksine kullanımı pek yaygın değildir (Argunhan ve Oktay, 2016; Karadayı ve Yüksek, 2016). Oysaki ülkemizde bulunan zengin perlit yatakları sayesinde, hammaddeye kolaylıkla erişilebilir ve yerli teknoloji kullanılarak yeni teknolojilerin üretilmesi mümkündür (Uluer vd., 2018).

Isı yalıtımındaki geleneksel malzemelerin sınırlamalarıyla başa çıkma ihtiyaçları, perlitinin yenilikçi bir çözüm olarak ön plana çıkmasını sağlamıştır. Perlit hem hafif olması hem de yalıtım malzemesi olarak etkili ve çevreci bir malzeme olmasından dolayı inşaat sektöründe dikkat çekmektedir. Bu malzemenin yapılarıdaki ölü yük miktarını emsallerine göre düşürmesi, mükemmel ses özellikleri, düşük sıcaklıkta olması ve yoğunluğu, perlitin inşaat projelerinde benzersiz bir rol oynamasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra yerli hammadde kullanımı da artış gösterecek ve enerji konusunda dışa bağımlılığının azalmasına olanak sağlanacaktır (Bozkurt ve Ramazanoğlu, 2023; Davraz vd., 2020).

### **Perlitin Isı ve Ses Yalıtımında Uygulama Alanları**

Granüler yapısı, düşük yoğunluk ve düşük ısı iletkenliği, perlitin ısı dağılımında etkili bir rol oynamasını sağlarken perlit, hafif ve boşluklu bir yapısı sayesinde ses dalgalarını emebildiği ve dağıtabildiği için ses yalıtımında da etkili bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Ses enerjisinin emilmesi, yankının azaltılması ve ortamda daha iyi akustik koşulların oluşturulması için kullanışlı olmaktadır (Başar ve Acartürk, 2022; Özer ve Özgünler, 2019; Arslan ve Aktaş, 2018; Uluer vd., 2018; Argunhan vd., 2016; Yıldız, 2014;). Genleştirilmiş perlitin ısı ve ses yalıtımı için çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Şekil 2'de gösterildiği gibi çatılarda, döşemelerde, zeminde ve duvarlarda perlit malzemesi yalıtım için kullanılabilir (Uluer vd., 2018; Yıldız, 2014). Oldukça geniş bir yelpazede çözümler sunan perlit, yapı maliyetine olumlu etki etmekte, yapı yükünü hafifletmekte ve bunların yanı sıra üstün ses ve ısı yalıtımı sağlamaktadır.

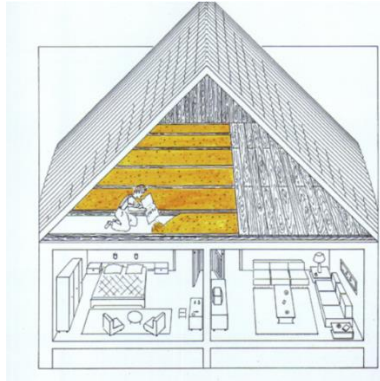
Perlit, çatılarda ısı ve ses yalıtımı için kullanılan etkili bir malzemedir. Şekil 3'te görüldüğü üzere kiremitlere, Şekil 4'te görüldüğü üzere çatı kiremit altlarına veya çatı katlarına perlit malzemesi eklenerek, dışarıdan gelen sıcaklık değişimlerine karşı bina içinde etkili bir yalıtım sağlanmaktadır. Çatılar genellikle ısı kaybının yoğun olduğu bölgeler olduğundan perlit malzemesinin çatı yalıtımında, çatı malzemesinin altına veya üstüne eklenmesiyle ısı geçişleri azaltılmaktadır (Yıldız, 2014).



Şekil 2. Yapılarda Isı ve Ses Yalıtımı Uygulama Alanları (Akıncı, 2007)



Şekil 3. Çatısı Perlit Kiremitle Örülmüş Ev (Yıldız, 2014)



Şekil 4. Çatı Döşemesinde Isı Yalıtımı İçin Perlit Kullanımı (Per ve Taş, 2023)

Şekil 5'te görüldüğü gibi duvarlarda kullanılan perlit örgü malzemeleri, dış etkenlerden kaynaklanan ısı kayıplarını engellemekte, ses izolasyonunu sağlamakta böylece iç mekanlarda daha konforlu bir yaşam ortamı sağlamaktadır. Perlit, Şekil 6 ve 7'de görüldüğü gibi iç ve dış duvarlarda kullanılarak ısı köprülerini önlemeye yardımcı olmaktadır. Duvar içi uygulamalarda, perlit malzemesi çimento ile karıştırılarak hafif yapı blokları veya paneller oluşturmakta ve bu da duvarlarda homojen bir ısı yalıtım tabakası sağlayarak ısı köprüsü oluşumunu engellemektedir. Ayrıca geleneksel sıva yerine perlitli sıvaların tercih edilmesi ses yalıtımına destek olarak akustik konfora destek sağlamaktadır (Yıldız, 2014).



Şekil 5. Perlitin Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımı (Yıldız, 2014)



Şekil 6. Perlitli Sıva (Perlitsa, 2018)



Şekil 7. Perlitli Isı Yalıtım Levhası (Yıldız, 2014)

Perlit, Şekil 8’de görülüğü üzere zemin yüzeyinde de kullanılmaktadır. Özellikle bodrum ve kotta kalan dairelerde veya beton zeminler üzerinde perlit malzemesi kullanılarak ısı kayıpları en aza indirilebilir ve enerji verimliliği artırılabilir. Perlit, zemin yalıtımında kullanılarak zemin altındaki ısı kaybını azaltabilir. Özellikle yerleştirilen bir perlit yalıtım tabakası, zeminin altında ısı köprülerini önleyebilir ve iç mekân sıcaklığını koruyabilir. Zemin döşemelerinin altında perlit kullanarak, binanın altında soğuk zeminin iç mekâna etkisini engelleyerek ısıtma maliyetlerini düşürebilir ve ısı yalıtımına katkı sağlanabilir. Bunun yanı sıra katlar arası ses yalıtımı da sağlanır (Yıldız, 2014).



Şekil 8. Isı ve Ses Yalıtımı İçin Döşemelerde Perlitli Şap Kullanımı (Ulusal Perlit, 2023)

## SONUÇ

Enerji tüketiminin, ısı ve ses verimliliğinin inşaat sektörünün çevresel performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gerçeği araştırmacıları yeni yöntemler ve malzemeler tasarlamaya yönlendirmiştir. Daha sürdürülebilir, daha çevreci ve daha ekonomik ısı ve ses yalıtım malzemeleri geliştirmeyi amaçlayan araştırmacılar için perlit, yüksek performanslı çözüm sunan bir malzeme olmuştur. Mevcut çalışmada da belirtildiği üzere birçok araştırmacı, perlitin yalıtım malzemelerinde kullanımıyla ilgili araştırmalar yapmış ve bu araştırmaların sonuçları, daha ekonomik, daha çevre dostu, sürdürülebilir ve daha etkili ısı ve ses yalıtım malzemelerinin geliştirilebilir olduğunu, perlitin gelecekte ısı ve ses yalıtımında önemli bir rol oynayacağını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, sahip olduğu üstün özelliklerden dolayı oldukça etkili ısı ve ses yalıtımı sağlayan perlit malzemesinin yalıtım endüstrisinde daha etkili ve yaygın kullanılmasıyla enerji sarfiyatının önüne geçilebileceğini, böylece çevrenin korunabileceğinin belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışma perlit malzemesinin ısı ve ses yalıtımındaki potansiyelini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu nedenle gelecekte daha verimli ve çevreci yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi için perlit takviyeli yalıtım malzemeleri üzerinde çalışmaların artırılması, enerji tasarrufuna ve çevrenin korunmasına daha fazla katkıda bulunacaktır. Bunun yanı sıra ülkemiz gibi enerjisinin büyük bölümünü ithal eden ülkelerde, perlit gibi verimli yalıtım malzemelerinin kullanımıyla enerjinin daha etkin bir şekilde kullanılması ülke ekonomisini de olumlu yönde etkileyecektir. Bu nedenle, ısı yalıtım malzemeleri alanında yapılan araştırmalara yatırım yapılması büyük önem taşımaktadır.



## KAYNAKLAR

- Perlitsa. (2018). <https://www.perlitsa.com/> Erişim Tarihi 22.03.2024.
- Per & Taş. (2023). <http://www.pertas.net/Perlit.html> Erişim Tarihi 22.03.2024.
- Ulusal Perlit. (2023). <http://ulusalperlit.com/perlitli-sap/> Erişim Tarihi 22.03.2024.
- Abidi, S., Nait-Ali, B., Joliff, Y., & Favotto, C. (2015). "Impact Of Perlite, Vermiculite And Cement On The Thermal Conductivity Of A Plaster Composite Material: Experimental And Numerical Approaches. *Composites: Part B*, 68, s. 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.07.030>
- Acar, M. C., Çelik, A. İ., Kayabaşı, R., Şener, A., Özdöner, N. & Onuralp Özkılıç Y. (2023). Production of Perlite-Based-Aerated Geopolymer Using Hydrogen Peroxide as Eco-Friendly Material for Energy-Efficient Buildings. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, s.81-99. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.179>
- Ahmadi, P. F., Ardeshir, A., Ramezaniapur, A. M., & Bayat, H. (2018). Characteristics Of Heat Insulating Clay Bricks Made From Zeolite, Waste Steel Slag And Expanded Perlit. *Ceramics International*, 44, s. 7588-7598. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.175>
- Akıncı, H. (2007). Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri.Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya 218s.
- Akyüncü, V., & Şanlıtürk, F. (2021). Investigation Of Physical And Mechanical Properties Of Mortars Produced By Polymer Coated Perlite Aggregate. *Journal of Building Engineering* , 38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102182>
- Alam, M., Singh, H., Brunner, S., & Naziris, C. (2014). Experimental Characterisation And Evaluation Of The Thermo-Physical Properties Of Expanded Perlite-Fumed Silica Composite For Effective Vacuum Insulation Panel (VIP) Core. *Energy and Buildings*, 69, s. 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.027>
- Alyousef, R., Benjeddou, O., Soussi, C., Khadimallah, M. A., & Jedidi, M. (2019). Experimental Study of New Insulation Lightweight Concrete Block Floor Based on Perlite Aggregate, Natural Sand, and Sand Obtained from Marble Waste. *Advances in Materials Science and Engineering* , s. 1-14. doi:<https://doi.org/10.1155/2019/8160461>
- Altuncı, Y. T., Öcal, C., Saphioğlu, K., İnce, H. K., Çevikbaş, M. (2021). Genleştirilmiş Cam Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Şap Harçlarının Performans Özelliklerinin Belirlenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(1), s.11-20. doi:10.31202/ecjse.753475
- Amran, M., Fediuk, R., Murali, G., Vatin, N., & Al-Fakih, A. (2021). Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review. *Sustainability*, 13, s.1-36. <https://doi.org/10.3390/su131910712>
- Anuja N., Priya N. A., Jeganmurugan, P. & Rameswari , A. S. (2022). Investigation on the Acoustic Behaviour of Perlite in Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1086, doi:10.1088/1755-1315/1086/1/012042
- Argunhan, Z., & Oktay, H. (2016). Investigation Of The Thermal And Acoustic Performance Of Perlite- Based Building Materials. *European Journal of Technic*, 6(1), s. 26-36.
- Arslan, M. A., & Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), s. 299-320. doi:doi: 10.2339/politeknik.407257
- Azizi, S. (2007). Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul 83s.
- Baba, E. (2018). Hafiflik, ekonomiklik, ısı yalıtımı ve yeterli basınç dayanımı unsurları taşıyan kompozit malzeme üretimi . Yüksek Lisans Tezi.Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli 75s.
- Balbuena, J., Sánchez, M., Sánchez, L., Cruz-Yusta, M. (2024). Lightweight Mortar Incorporating Expanded Perlite, Vermiculite, and Aerogel: A Study on the Thermal Behavior. *Materials*, 17(3), <https://doi.org/10.3390/ma17030711>

- Başar, F. S., & Acartürk, B. (2022). Perlit Katkılı Seramik Bünye Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(5), s. 1149-1156. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1115439>
- Bayraktar, D., & Bayraktar, E. A. (2016). Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1), s. 59-66.
- Benjeddou, O., Ravindran, G., & Abdelzaher, M. A. (2023). Thermal and Acoustic Features of Lightweight Concrete Based on Marble Wastes and Expanded Perlite Aggregate. Buildings, 13(4), s. 992. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings13040992>
- Binici, H., & Kalaycı, F. (2015). Production Of Perlite Based Thermal Insulating Material. International Journal of Academic Research and Reflection, 3(7), s. 47-54.
- Bozkurt, N., & Ramazanoğlu, B. (2023). The Screed Design with Pumice and Perlite Components in Zero Energy Building Targets. Zerobuild Journal, 1(2), s. 69-84. doi:Doi: 10.5281/zenodo.8200989
- Bozkurt, T. S., & Demirkale, S. Y. (2020). The Experimental Research of Sound Absorption in Plasters Produced with Perlite Aggregate and Natural Hydraulic Lime Binder. AcousticsAustralia, 48, s. 375-393 . doi:<https://doi.org/10.1007/s40857-020-00203-4>
- Celik, A., Depci, T., & Kılıc, A. (2014). New Lightweight Colemanite-Added Perlite Brick And Comparison Of Its Physicomechanical Properties With Other Commercial Lightweight Materials. Construction and Building Materials, 62, s. 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.031>
- Celik, S., Family, R., & Menguc, M. P. (2016). Analysis Of Perlite And Pumice Based Building Insulation Materials. Journal of Building Engineering, 6, s. 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.02.015>
- Çavdaroğlu, C., Olgun, U., & Altuncu, E. (2024). Use of expanded perlite as green filler for the preparation of EPDM-perlite rubber composites with improved thermal stability and insulation properties. Polymer Composites, <https://doi.org/10.1002/pc.28665>
- Çelik, D. N., & Durmuş, G. (2022). The Development Of Ultralightweight Expanded Perlite-Based Thermal Insulation Panel Using Alkali Activator Solution. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 16(11), s. 1486-1499. doi:<https://doi.org/10.1007/s11709-022-0881-6>
- Davraz, M., Koru, M., Akdağ, A., Kılınçarslan, Ş., Delikanlı, Y., & Çabuk, M. (2020). Investigating The Use Of Raw Perlite To Produce Monolithic Thermal Insulation Material. Construction and Building Materials, 263(120674). doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120674>
- Demir, I., & Başpınar, M. S., & Kahraman, E. (2018). Production of Insulations and Construction Materials from Expanded Perlite. Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017), s.24-32, DOI:10.1007/978-3-319-63709-9\_3
- Diao, R., Cao, Y., Sun, L., Li, J. Michel, M. M., Xu, C., & Yang, F. (2024). Energy Consumption of Hollow Bucket Walls Filled With Different Insulation Materials. Applied Thermal Engineering, 250, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123427>
- Fenoglio, E., Fantucci, S., Serraa, V., Carbonarob, C., & Pollob, R. (2018). Hygrothermal And Environmental Performance Of A Perlite-Based Insulating Plaster For The Energy Retrofit Of Buildings. Energy and Buildings, 179, s. 26-38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.017>
- Gandagea, A., Raob, V., Sivakumarc, M., Vasan, A., Venud, M., & Yaswanthe, A. B. (2013). Effect Of Perlite On Thermal Conductivity Of Self Compacting Concrete. Pr Cedia - S Cial and Behavioral Sciences, 104, s. 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.111>
- Gao, H., Liu, H., Liao, L., Lefu Mei, P. S., Xi, Z., & Lv, G. (2019). A Novel İnorganic Thermal Insulation Material Utilizing Perlite Tailings. Energy & Buildings, 190, s. 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.031>
- Hamza, A., & Kocserha, I. (2020, April). The effect of expanded perlite on fired clay bricks. Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1527, No. 1, p. 012032). IOP Publishing
- Kabay, N., & Kızılkant, A. B. (2019). Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Bakımından Genleştirilmiş Perlit Agregalı Hafif Blok. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(3), s. 47-58. <https://doi.org/10.17482/uumfd.451045>

- Karadayı, T. T., & Yüksek, İ. (2016). Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma. *Tesisat Dergisi*, 242, s. 90-102.
- Karademir, A. Ç., & Dağ, A. (2021). Sürdürülebilirlik Uygulaması Olarak Yeşil Bina ve LEED Sertifikasyonu Üzerine Türkiye İnşaat Sektöründe Bir Çalışma. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(1), s. 63-83.
- Kong, X., Yao, C., Jie, P., Liu, Y., Qi, C., & Rong, X. (2017). Development And Thermal Performance Of An Expanded Perlite-Based Phase Change Material Wallboard For Passive Cooling In Building. *Energy and Buildings*, 152, s. 547-557. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.067>
- Liu, W., Apel, D., & Bindiganavile, V. (2014). Thermal Properties Of Lightweight Dry-Mix Shotcrete Containing Expanded Perlite Aggregate. *Cement & Concrete Composites*, 53, s. 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.003>
- Lin, Y., Li, X., Huang Q. (2021). Preparation and Characterization of Expanded Perlite/Wood-Magnesium Composites as Building Insulation Materials. *Energy and Buildings*, 231, s.1-9, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110637>
- Lu, Z., Xu, B., Zhang, J., Zhu, Y., Sun, G., & Li, Z. (2014). Preparation And Characterization Of Expanded Perlite/Paraffin Composite As Form-Stable Phase Change Material. *Solar Energy*, 108, s. 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.008>
- Maaloufa, Y., Mounir, S., Khabbazi, A., & Kettar, J. (2016). Effect Of Calcination On The Thermal Properties Of Bricks Done From Clay- Expanded Perlite On Insulation Walls. *Journal Of Thermal Science and Engineering*
- Makrygiannis, I., Tsetsekou, A. (2022). Effect of Expanded Perlite in the Brick Mixture on the Physicochemical and Thermal Properties of the Final Products. *Journal of Composites Science*, 6(7), 211. <https://doi.org/10.3390/jcs6070211>
- Nastac, S., Nechita, P., Debeleac, C., Simionescu, C. & Seciureanu, M. (2022). The Acoustic Performance of Expanded Perlite Composites Reinforced with Rapeseed Waste and Natural Polymers. *Sustainability*, 14, s.1-17. <https://doi.org/10.3390/su14010103>
- Nechita, P., & Ionescu, Ş. M. (2018). Investigation On The Thermal Insulation Properties Of Lightweight Biocomposites Based On Lignocellulosic Residues And Natural Polymers. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 31(11), s. 1497-1509. doi:<https://doi.org/10.1177/0892705717738300>
- Oktay, H., Yumrutaş, R., & Akpolat, A. (2015). Mechanical And Thermophysical Properties Of Lightweight Aggregate Concretes. *Construction and Building Materials*, 96, s. 217-225. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.015>
- Oliveiraa, A. G., Jrb, J. C., Rochaa, E. B., Sousaa, A. M., & Silvab, A. L. (2019). Evaluation Of Expanded Perlite Behavior In PS/Perlite Composites. *Applied Clay Science*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105223>
- Özer, N., & Özgünler, S. A. (2019). Yapılarda Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Duvar Kesitleri Üzerinde Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), s. 25-48. doi:10.17482/uumfd.438738
- Patricia Guijarro-Miragaya 1, D. F., Atanes-Sánchez, E., & Zaragoza-Benzal, A. (2023). Characterization of a New Lightweight Plaster Material with Superabsorbent Polymers and Perlite for Building Applications. 13(7), s. 1641. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings13071641>
- Petrella, A., Gisi, S. D., Clemente, M. E., & Todaro, F. (2022). Experimental Investigation on Environmentally Sustainable Cement Composites Based on Wheat Straw and Perlite. *Materials*, 15(2), s. 453. <https://doi.org/10.3390/ma15020453>
- Pichór, W., & Janiec, A. (2009). Thermal Stability Of Expanded Perlite Modified By Mullite. *Ceramics International*, 35, s. 527-530. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.10.008>
- Rajia, M., Nekhlaouic, S., Hassanid, I.-E. E., Essassia, E. M., Essabira, H., Rodriguee, D., . . . Qaissa, A. e. (2019). Utilization Of Volcanic Amorphous Aluminosilicate Rocks (Perlite) As Alternative Materials In Lightweight Composite. *Composites Part B*, 165, s. 47-54. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.098>

- Ramazanoğlu, B. (2020). Yalıtım şaplarında bitlis yöresi pomza taşının perlit ile birlikte kullanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bitlis 80s.
- Rashad, A. M., Khalil, M. H., El-Nashar, M. H. (2021). Insulation Efficiency of Alkali-Activated Lightweight Mortars Containing Different Ratios of Binder/Expanded Perlite Fine Aggregate. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6(156), S. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00524-x>
- Sagbaş, A., & Başbuğ, B. (2018). Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Enerji Verimliliği Uygulamaları: Türkiye Değerlendirmesi. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), s. 43-50.
- Skubic, B., Lakner, M., & Plazl, I. (2013). Sintering Behavior of Expanded Perlite Thermal Insulation Board: Modeling and Experiments. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, s. 10244-10249. <https://doi.org/10.1021/ie400196z>
- Sun, D., & Wang, L. (2015). Utilization Of Paraffin/Expanded Perlite Materials To Improve Mechanical And Thermal Properties Of Cement Mortar. *Construction and Building Materials*, 101(1), s. 791-796. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.123>
- Şengül, O., Azizi, S., Karaosmanoğlu, F., & Taşdemir, M. (2011). Effect of Expanded Perlite On The Mechanical Properties And Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. *Energy and Buildings*, 43(2-3), s. 671-676. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>
- Topçu, İ., & Işıkdag, B. (2007). Manufacture Of High Heat Conductivity Resistant Clay Bricks Containing Perlite. *Building and Environment*, 42(10), s. 3540-3546. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.016>
- Topçu, İ., & Işıkdag, B. (2008). Effect Of Expanded Perlite Aggregate On The Properties Of Lightweight Concrete. *Journal of Materials Processing Technology*, 204, s. 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.10.052>
- Tsaousi, G.-M., Sakkas, K. M., Douni, I., & Pnias, D. (2015,May). Development of lightweight insulating building materials. *An ECI Conference*, (s. 93-98).
- Uluer, O., Karaağaç, İ., Aktaş, M., Durmuş, G., Ağbulut, Ü., Khanları, A., & Çelik, D. N. (2018). Genleştirilmiş Perlitin Isı Yalıtım Teknolojilerinde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), s. 36-42. doi: 10.5505/pajes.2017.61687
- Vaou, V., & Pnias, D. (2010). Thermal Insulating Foamy Geopolymers From Perlite. *Minerals Engineering*, 23(14), s. 1146-1151. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.07.015>
- Wang, M., Liu, S., Han, J., Bai, R., Gao, W., & Zhou, M. (2024). A novel capric-stearic acid/expanded perlite-based cementitious mortar for thermal energy storage. *Solar Energy*, 273, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112501>
- Yapıcı, F., Özçifçi, A., Gencer, A., & Kurt, Ş. (2011). The Effect Of Expanded Perlite On Thermal Conductivity Of Medium Density Fiberboard (MDF) Panel. *Technology*, 14(2), s. 47-51.
- Yıldız, N. (2014). Perlit. *Madencilik Türkiye Dergisi*, s. 100-102.
- Yılmaz, S., & Özdeniz, M. (2005). The Effect Of Moisture Content On Sound Absorption Of Expanded Perlite Plates. *Building and Environment*, 40, s. 311-318. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.07.004>
- Zou, J., Zheng, K. & Li, S. (2024). Research on A Kind of Lightweight Heat-insulating, Sound-insulating and Light-Transmitting Concrete Interior Partition Wall Block. *Academic Journal of Science and Technology*, 10(1).
- Zukowski, M., & Haese, G. (2010). Experimental And Numerical Investigation of A Hollow Brick Filled With Perlite Insulation. *Energy and Build*, 42(9), s. 1402-1408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.009>