



Tarihi yapılarda tespit edilen sorunların yapı malzemeleri üzerinden iyileştirilmesi

Improving the deteriorations of historic buildings through building materials

Ebru Kılıç Bakırhan^{1*}

¹ Karabük Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ebru.kilic@karabuk.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0650-8297>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 7 Nisan 2025
Revizyon 11 Temmuz 2025
Kabul 29 Temmuz 2025
Online 30 Eylül 2025

Anahtar Kelimeler:

Tarihi çevre, doğal çevre, koruma, mimari sürdürülebilirlik, malzeme iyileştirmeleri

ÖZ

Tarihi yapılar günümüz şartlarına uyum sağlayabilmeleri ve varlıklarını sürdürebilmeleri adına çeşitli müdahalelere ihtiyaç duyabilmektedir. Bu süreçte yapılarda tespit edilen sorunların yenilikçi bir çerçevede ele alınarak tarihi dokuya ve çevreye zarar vermeden giderilmesi gerekir. Bu çalışmada yıllar içerisinde tarihi yapılarda görülen aksaklıklar ve ihtiyaçlar ele alınarak bunların yapı malzemesi ölçeğinde giderilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmanın metodolojisine göre, nem sorunu, enerji performansı, termal konfor, çevresel etkiler ve iç mekân hava kalitesi olarak belirlenen beş farklı kategoride son on yılda literatüre kazandırılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışma, yeni malzeme ve teknoloji kullanımının tarihi çevre kadar doğal çevreye olan etkilerinin de incelenmesi açısından bilinçlendirici bir yaklaşıma sahiptir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 April 2025
Received in revised form 11 July 2025
Accepted 29 July 2025
Available online 30 September 2025

Keywords:

Historic environment, natural environment, conservation, architectural sustainability, material improvements

ABSTRACT

Historic buildings may need various interventions to adapt to changing conditions and maintain their existence. The problems identified in the buildings should be addressed in an innovative framework and should be eliminated without harming the historical texture and the environment. In this study, the problems and needs of historical buildings over the years are discussed and solutions are proposed to eliminate them on the scale of building materials. Recent studies in five different categories, namely humidity and dampness, energy performance, thermal comfort, environmental impacts, and indoor air quality, were examined. This study has an awareness-raising approach in terms of examining the effects of the use of new materials on the natural environment as well as the historical environment.

Doi: 10.24012/dumf.1671361

* Sorumlu Yazar

Giriş

İnşa edildiği döneme ait fiziksel özelliklerini bütüncül bir şekilde barındıran ve toplumsal, görsel veya tarihi açıdan bir değere sahip yapılar, tarihi bina kategorisinde değerlendirilmektedir [1]. Ayrıca kültürel mirasa ait olan bir yapının 100 yıl boyunca yıkılmadan ayakta kalması ona ‘tarihi yapı’ unvanı kazandırır [2]. Ancak bu kadar uzun süre tarihe tanıklık eden yapılarda yıllar içerisinde değişen çevresel koşullar, kullanıcı hataları veya yapı malzemelerinin ömrünü tüketmesi nedeniyle çeşitli deformasyonlar görülmeye başlar. Bu tür sorunların üstesinden gelinmesinde yeni malzeme ve tekniklerden faydalanılması, yapıların ömrünü uzatarak tarihi yapıların sürdürülebilirliğe katkı sunabilmektedir [3].

Tarihi yapıların koruma işlerinin yapının bütünlüğünü bozmayacak şekilde gerçekleştirilmesi gerekir. Ancak koruma işlemleri doğal kaynakların kullanıldığı, atık malzemelerin ortaya çıktığı, maliyetli ve özen gerektiren bir süreçtir. Bu sürecin doğal ve yapı çevreye en az etki edecek şekilde yürütülmesi elzemdir. Tarihi binaların restorasyonunda kullanılan malzemeler, yapı ile uyumu, rengi, dokusu, işlevi ve özellikleri açısından dikkatle seçilmelidir [4].

Yöntem

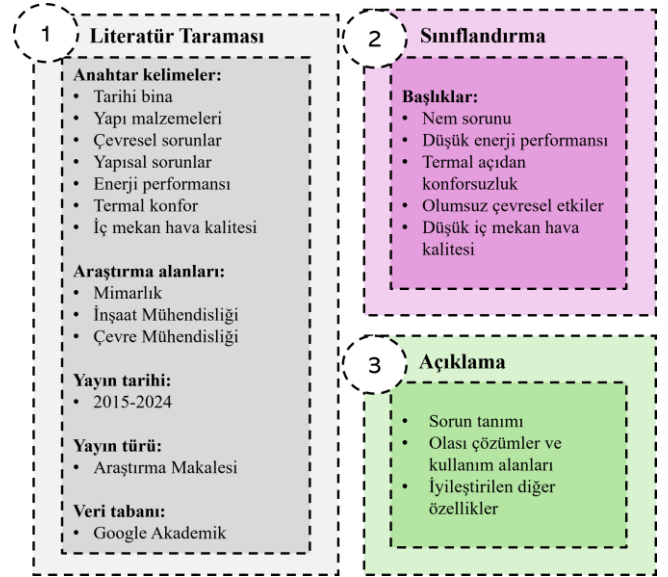
Kültürel mirasın korunmasına yönelik alınması gereken önlemlerin gözler önüne serilmesi, güncel malzeme teknolojilerinin tartışılması ve tarihi yapıların korunması ile ilgilenen yetkililerin bilinçlendirilmesi çalışmanın temel amaçlarındandır.

Bu çalışmada tarihi yapılarda sıkça görülen çeşitli sorunları ele alan ve son on yılda yayınlanmış olan çalışmalar incelenmiştir. Seçilen çalışmaların yapı malzemesi ölçeğinde bir yenilik sunmasına da ayrıca özen gösterilmiştir. Tarihi yapılardaki problemler nem sorunu, düşük enerji performansı, termal açıdan konforsuzluk, olumsuz çevresel etkiler ve düşük iç mekan hava kalitesi olmak üzere beş ana başlık altında toplanmıştır.

Her bir başlık altında açıklanan tarihi yapı sorunu; (1) ilgili sorunun tanımlanması, (2) olası çözümlerin ve yapıda kullanım alanlarının verildiği bir görsel ve (3) yapıda iyileştirilen diğer özelliklerin açıklamasını içeren bir tablo ile desteklenmiştir (Şekil 1).

Bulgular

Beş ana başlık altında incelenen çalışmalarda, nem sorunu için odun külü katkısı ve kil bariyeri; düşük enerji performansının artırılmasına yönelik olarak soğuk renk malzeme ve membran kullanımı; termal konforsuzluğun giderilebilmesi için termal kütle, faz değiştiren malzeme (FDM) ve çeşitli gölgelendirme elemanları; çevresel etkilerin düşürülmesinde atık malzemeden yararlanılması ve atık yönetimi; iç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesinde ise yeşil yapı malzemelerinin kullanımına değinilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın metodolojisi.

Nem sorunu

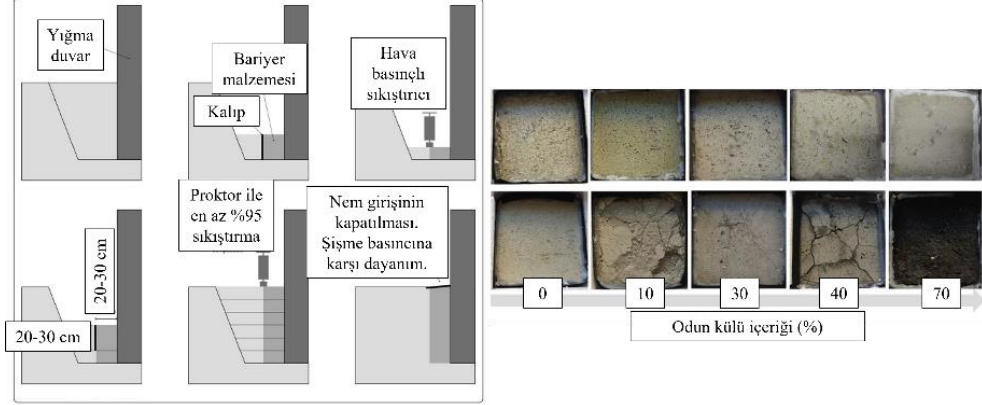
Yapı malzemelerinde yıllar içerisinde meydana gelen hasar, topraktan gelen neme karşı yapıyı savunmasız hale getirebilir. Nem, yapı strüktürüne ve kaplamalara zarar vererek bina kabuğunda gerçekleşen ısı alışverişini artırır ve bu durum binanın enerji tüketiminin de artmasına neden olur. Ayrıca kullanıcılarda konforsuzluk hissine de yol açan iç mekanlardaki yüksek nem artışı, küf oluşumuna ve bina kullanıcılarında çeşitli sağlık problemlerinin gelişmesine neden olabilmektedir [5].

Tarihi yapılardaki nem artışı, yapının taşıyıcı sisteminin zarar görmemesi adına üstesinden gelinmesi gereken ciddi bir sorundur. Bu aşamada düşük maliyetli, tarihi dokuda en az etkiye neden olacak nem bariyerlerinden faydalanılabilir. Piyasada düşük hidrolik iletkenliğe sahip olarak satılan bentonit kil-kum karışımı ve buzul tortusu içeren farklı bariyerler tarihi bir bina kapsamında değerlendirilmiş ve test edilen toprak numunelerinin zeminden nem girişi ve buna bağlı gerçekleşen hasarı önlemede etkili olabileceği görülmüştür. Bahsi geçen kil karışımları birçok koruma projesinde uygulanmış ve laboratuvarında test edilmiştir [6].

Neme maruz kalmış tarihi binalardan nemin uzaklaştırılmasında kireç harcının içine katılan odun külü de etkili olabilmektedir [7]. Yapılan deneysel bir çalışmada kireç harcına %20 ila %40 oranında katılan odun külünün harç üzerinde puzolanik aktivite göstererek kılcal doygunlukta odun külü içermeyen harçlara göre daha fazla suyu emdikleri ortaya çıkmıştır (Tablo 1). Bunun nedeninin harç içeriğindeki gözenek sayısının artması olduğu bilinmektedir. Kullanılan biyokütle özelliğindeki odun külü, nemli ortamlarda bulunan yığma duvarların derzlerinin onarılmasında, belirtilen ideal oranlarda olmak kaydıyla, kullanılabilir. Bu oranların üzerine çıkılması durumunda ise kuruma aşamasında harçta büzülme gözlemlenmiştir [7].

Tablo 1. Nem sorunu ve olası çözümler

<i>Sorunlar</i>	Nemin bina strüktürüne zarar vermesi, dayanımı düşürmesi, kullanıcı konforsuzluğuna neden olması ve yalıtımı zedelemesi sonucunda binanın enerji tüketiminde artışa neden olması.
<i>Olası çözümler ve yapıda kullanım alanları</i>	Yığma duvarların toprakla temas eden yüzeyinde kil bariyerlerinin [6] ve kireç harcında odun külünün kullanımı [7].



Yukarıdaki görsellerde yığma duvara uygulanan kil bariyerin inşa edilme aşamaları (solda) ve farklı oranlarda odun külü içeren kireç harcındaki bozunmalar (sağda) gösterilmektedir.

<i>İyileştirilen özellikler</i>	Tarihi dokuya minimum müdahale, malzeme gözeneklerinin kapatılarak nem girişinin ve hasarın önüne geçilmesi.
---------------------------------	--

Düşük Enerji Performansı

Tarihi yapıların enerji tüketimlerinin azaltılmasında genellikle içten uygulanan yalıtım katmanı ve bunun yeterli gelmemesi durumunda aktif olarak enerji tüketen cihazlarla iyileştirmelere gidilir. Yakın zamanda bu yöntemlere ek olarak etkin şekilde enerji verimliliği sağlayacak yenilikçi çözüm ve malzemelerin arayışına girilmiştir.

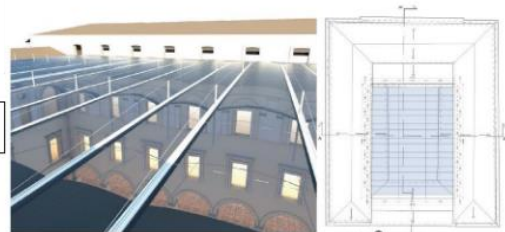
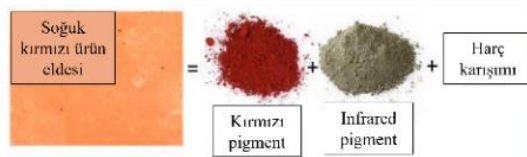
Bu çalışmalardan biri İtalya'da gerçekleştirilen soğuk renkli cephe malzemelerinin kullanımıdır. Ilık veya sıcak iklimlere sahip bölgelerde termal konforun sağlanması ve soğutma yükünün düşürülmesi adına genellikle açık renkli elemanlar tercih edilmektedir. Ancak tarihi çevrelere hâkim olan renkler gri veya kırmızı tonlarındadır. Bu durum dikkate alınarak seçilen tarihi bir yapı üzerinden yürütülen çalışmada, enerji performansının iyileştirilmesi adına tarihi binaların dış görünüşüne etki etmeden yenilikçi, soğuk renkli, çimento bazlı malzeme kullanımı önerilmiştir. Laboratuvarında elde edilen çiktılar, dinamik simülasyonlarda

vaka çalışması ölçeğinde kullanılmıştır. Harçlara renk pigmentleri eklenerek oluşturulan bu yeni cephelerin yüzey sıcaklıkları geleneksel cephelerle kıyaslandığında 8°C düşüş ve soğutmadan kaynaklı enerji tüketiminde %3 oranında azalma sağlandığı görülmüştür [8].

Gerilebilir membranlar, maliyet etkin ve sürdürülebilir bir şekilde binaların strüktürel performanslarını iyileştirmek için yaygın olarak tarihi binalarda uygulanmaktadır. Ancak bu tür membranların iç mekân konforuna ve enerji tüketimine olan etkilerini ortaya koymak önemlidir. Bu amaçla İtalya'da yer alan ve orta avluya sahip tarihi bir yapının orta avlusunun plastik bir polimer türü olan ETFE ile kaplanmasının binanın enerji performansına olan etkisi araştırılmıştır (Tablo 2). Enerji simülasyonlarının sonucunda, uygulanan membran sayesinde özellikle kış aylarında en yüksek enerji kazanımının sağlandığı görülmüştür. Yıllık karbon salımlarında sıcak aylarda %6, soğuk aylarda %10 düşüş gözlemlenmiştir [9].

Tablo 2. Enerji performansının iyileştirilmesine yönelik olası çözümler

<i>Sorunlar</i>	Enerji performansında düşüş, iklim değişikliği, geleneksel iyileştirme hamlelerinin yetersiz olması.
<i>Olası çözümler ve yapıda kullanım alanları</i>	Yapı kabuğunda soğuk renkli malzemeler [8] ve avlu üzerinde ETFE membran kullanımı [9].



Yukarıdaki görsellerde soğuk renk pigmenti eklenen harç karışımı (solda) ve tarihi bina avlusuna gerilen üst örtünün detayları (sağda) gösterilmektedir.

İyileştirilen
özellikler

Termal konfor, enerji performansı, maliyet etkinliği, strüktürel performans, çevresel etkiler.

Termal Konfor Eksikliği

Küresel çapta gerçekleşen iklim değişikliği tarihi yapıların iç mekân sıcaklıkları ve dolayısıyla kullanıcıların termal konforu üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle mevcut binalar daha fazla aktif sistemlere bağlı kalmakta ve yeni binalara göre bu tür yapıların enerji tüketimleri artış göstermektedir. Neticede daha fazla karbon salımı gerçekleşmekte ve küresel ısınma artış göstererek iklim değişiklikleri de bundan payına düşeni almaktadır. Bu kısır döngüden çıkabilmek adına termal konforun sağlanması, konunun kilit noktasını teşkil etmektedir [10].

Termal konforun sağlanmasında aktif sistemlerin büyük rol üstlendikleri ve kullanımları süresince harcanan enerjinin tarihi binaların mevcut enerji tüketiminden daha az olduğu bilinse de [10], aktif sistemlerden önce pasif tasarım ilkeleri bağlamında malzemelerin sağladıkları avantajların irdelenmesi mimari sürdürülebilirliğin sağlanması açısından esastır.

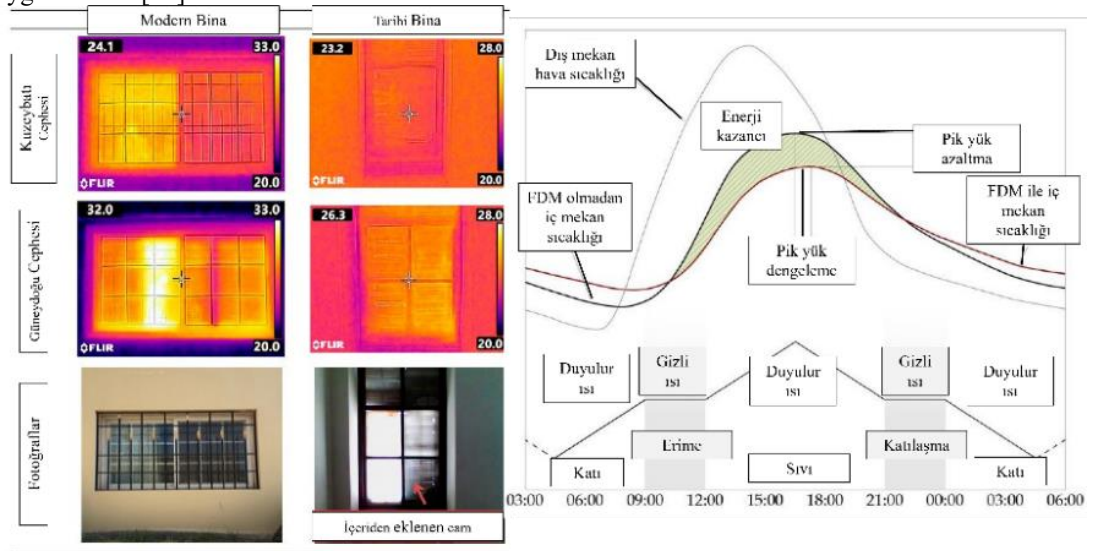
Bu pasif ilkelerden biri olan termal kütlelerin kullanımının ısı konforun sağlanmasında etkili olduğu bilinmektedir.

Saha araştırmasına dayalı bir çalışmada doğru yönelim, cam seçimi, gölgelendirme elemanları ve havalandırma ile bu etkinin daha da güçlendirilebildiği görülmüştür. Özellikle sıcak iklimlerde konfor şartlarının sağlanmasında cam türü seçiminin termal kütleden daha etkili olduğu bilinmektedir. Tüm bu bahsi geçen yapı malzemelerinin ekstrem hava koşullarında ve gerekli görüldüğü durumda aktif sistemlerle desteklenmesi, ısı konfor ve enerji performansı açısından etkili olacaktır [11].

Diğer yandan tarihi binaların çoğunluğunda halihazırda termal kütle kullanıldığı bilinmektedir. Ancak termal kütlelerin yeterli olmadığı durumlarda restorasyon aşamasında faz değiştiren malzeme (FDM) içeren harçların kullanımı, binaların termal ataletini iyileştirebilir ve bu müdahale aynı zamanda tarihi binanın dış görünüşüne etki etmez (Tablo 3). Kireç harcına granül parafin FDM'nin eklendiği deneysel ve sayısal simülasyonlara dayalı bir çalışmada, ağırlıkça %10 FDM harcı içeren numunenin referans numuneye göre enerji kullanımında %9-18 düşüş ve malzemenin termal iletkenliğinde %22,5 azalma sağladığı gözlemlenmiştir [12].

Tablo 3. Termal konforun iyileştirilmesine yönelik olası çözümler

<i>Sorunlar</i>	Termal konforsuzluk ve buna dayalı enerji tüketiminde gerçekleşen artış, küresel ısınma, karbon salımlarındaki artış.
<i>Olası çözümler ve yapıda kullanım alanları</i>	Yapı kabuğunda termal kütle kullanımı, uygun cam seçimi, gölgelendirme elemanları [11] ve FDM uygulamaları [12]



Yukarıdaki görsellerde 2020 yılı ilkbahar sezonunda saat 10:00-14:00 aralığında elde edilen tarihi ve modern binalara ait termal kamera görüntüleri (solda) ve FDM kullanımından kaynaklanan enerji kazanımı (sağda) gösterilmektedir.

İyileştirilen
özellikler

Termal konfor, enerji performansı, maliyet etkinliği, aktif sistemlere olan bağımlılığın azaltılması, çevresel etkiler.

Olumsuz Çevresel Etkiler

Tarihi yapıların korunmasında kullanılan her yeni malzeme yeni ham madde ihtiyacını da beraberinde getirerek çevre

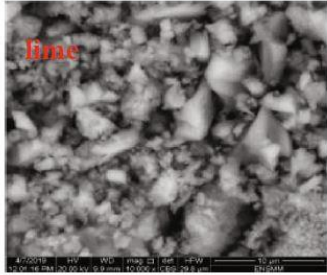
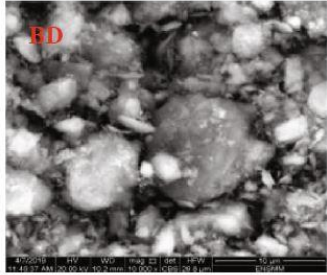
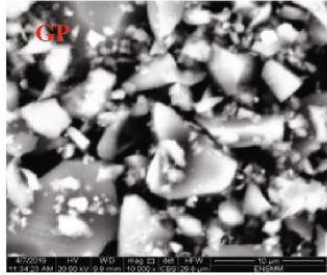
üzerinde bir yük oluşturur. Bunun çözümlerinden biri de atık malzeme kullanımına yönelmektir. Bu sayede yapı malzemelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilebilmesinin yanı sıra çevresel etkilerinin düşürülebilmesi de mümkün olabilmektedir.

Kuzey Cezayir’de gerçekleştirilen ve vaka çalışmasına dayalı olarak laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada kireç harçlarına eklenen %30 oranındaki seramik atığı ve cam şişelerden elde edilen cam tozu sayesinde puzolanik aktivitenin görüldüğü ve özellikle basınç dayanımında artış sağlandığı tespit edilmiştir. Sınanan numuneler arasında %30 oranında cam tozu içeren harçta, en düşük açık gözenekliliğe sahip olması nedeniyle suya karşı en yüksek direncin sağlandığı görülmüştür (Tablo 4). İyileştirilen özelliklerin yanı sıra ham madde ihtiyacının kullanılan atık oranınca düşürülmesi çevresel açıdan kayda değerdir [13].

Meksika’da saha araştırması ve sayısal hesaplamalara dayalı bir çalışmada atık yönetiminin önemine değinilmiştir. Koruma projelerinde inşaat atıklarının geri dönüştürülecek, yeniden kullanılacak ve atık sahasına gönderilecek yapı malzemeleri şeklinde tasniflenmesinin Toolkit gibi araçlarla basitleştirilebildiği ortaya çıktı. Bu yaklaşım kaynak verimliliğinin sağlanması yoluyla çevresel etkileri düşürebildiği gibi restorasyon maliyetlerinin azaltılmasında da önemli katkılar sağlamıştır [14].

Ayrıca tarihi binaların kullanım aşamasında gösterdiği çevresel etkilerin yüksek olduğu düşünüldüğünde, uyarlanabilir yeniden kullanım süresinde yenilikçi ve enerji performansı yüksek yapı malzemelerinin kullanımı çevresel etkilerin düşürülmesinde etkili olabilmektedir [15]. Ancak yapı malzemelerinin üretim aşamalarında harcanan gömülü etki ile kullanım aşamasındaki operasyonel etkilerin birlikte ele alınması bütüncül bir yaklaşım için daha uygundur [16].

Tablo 4. Çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik olası çözümler

<i>Sorunlar</i>	Artan karbon salımı ve ham madde ihtiyacı.
<i>Olası çözümler ve yapıda kullanım alanları</i>	Harçlarda atık taş, cam ve tuğla tozu kullanımı [13] ve yapı malzemelerinin tasniflenmesi yöntemiyle atık yönetimi [14]
	  
	Yukarıdaki görselde harçlara ait SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri yer almaktadır.
<i>İyileştirilen özellikler</i>	Malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, çevresel etkilerin düşürülmesi.

Düşük İç Mekan Hava Kalitesi

Tarihi binalarda kullanılan yeni malzemeler, açığa çıkardıkları uçucu organik bileşikler nedeniyle iç mekanlarda çeşitli sağlık sorunlarını da beraberinde getirebilir. Bu nedenle tercih edilen yeni malzemelerin formaldehit gibi kansere yol açan madde içeriklerinin önceden tespit edilmesi, kullanıcı sağlığı açısından son derece önemlidir. İç mekân hava kalitesinin düşük olduğu ortamlarda hasta bina sendromu görülebilmektedir. Bu sendrom, alerji, astım, öksürük, yorgunluk, baş ağrısı, göz ve burunda tahriş gibi rahatsızlarla kendini belli etmektedir [17, 18].

Yeşil yapı malzemelerinin kullanımı ile iç mekanlarda istenen hava kalitesinin sağlanabilmesi mümkündür. Bu malzemeler, ekolojik, sağlıklı, geri dönüştürülebilir veya yüksek performansa sahip özellikte olup yaşam döngüleri boyunca çevreye ve insan sağlığına etkileri en aza indirgenmiş olan yapı malzemeleridir [19].

Tayvan’da yapılan ve yasal düzenlemeleri inceleyen bir araştırmada yasalarla güvence altına alınan iç mekan hava

kalitesinin standartlarına ve yeşil malzeme özelliklerine değinilmiştir. 2000’li yılların başından beri sağlanan farkındalık ve denetimde sağlanan etkinlik nedeniyle piyasadaki ürünlerin %75’inin yeşil yapı malzemelerinden oluştuğu bildirilmiştir. Binanın iç yüzey alanının en az %45’i ve dış mekâna bakan yüzey alanının en az %10’unun yeşil yapı malzemelerinden oluşmasının gerekliliği standartlarla belirtilmiştir. Bina Teknik Yasası’nda yer alan geri dönüştürülmüş plastik, kauçuk, tuğla ve ahşabın yanı sıra EPA tarafından belirlenen zehirli malzemeleri içermeyen ve Montreal Protokolü’ne uygun yalıtım ürünleri, su bazlı boya ve kaplamalar ve diğer sertifikalı malzemeler yeşil yapı malzemelerini oluşturur (Tablo 5). Bu tür malzemelerin çevreye ve insan sağlığına karşı zararsız olması ve ulusal standartlara uygun olması zorunludur [20].

Diğer yandan Steinemann vd. [21], yeşil binaların iç mekan hava kalitesi ile doğrudan bir ilişki kurabilmeleri için yapı malzemelerin emisyonlarının araştırılmasının yanı sıra kullanıcı beklenti ve görüşlerinin alınmasının gerekliliğine değinmişlerdir.

Tablo 5. İç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olası çözümler

<i>Sorunlar</i>	Düşük iç mekân hava kalitesi, hasta bina sendromu, kanserojen madde içerikleri.	
<i>Olası çözümler ve yapıda kullanım alanları</i>	Yeşil yapı malzemelerinin kullanımı [20]	
	İç ortamdaki hava kirleticileri	Standard
		Konsantrasyon
		Test süresi
	Karbondiyoksit (CO ₂)	1000 ppm
	Karbonmonoksit (CO)	9 ppm
	Formaldehit (HCHO)	0,06 ppm
	T. uçucu organik bileşikler	0,56 ppm
	Bakteri	1500 CFU/m ³
	Mantar	1000 CFU/m ³
	Kaba partiküller (PM10)	75 µg/m ³
	İnce partiküller (PM2.5)	35 µg/m ³
	Ozon (O ₃)	0,06 ppm

CFU: Koloni oluşturabilen birim, ppm: milyondaki partikül miktarı

Yukarıdaki grafikte çeşitli iç mekan hava kirleticilerine ait sınır değerler verilmiştir.

İyileştirilen özellikler

Döngüsel ekonomiye katkı, insan sağlığının ve doğal çevrenin korunması, malzemelerde standardizasyon.

Sonuç ve Değerlendirme

Tarihi yapılar kültürel ve evrensel mirası oluşturdukları için geleceğe aktarılmalı son derece önemlidir. Bu hususta bu tür yapıların zaman içerisinde maruz kaldıkları sorunların giderilmesine yönelik çağdaş önlem ve metotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma tarihi dokuya, bina kullanıcılarına ve doğal çevreye olumsuz etkileri olan beş farklı sorunun yapı malzemeleri üzerinden çözümlenmesine ve/veya etkilerinin azaltılmasına odaklanmaktadır. Sorunun öncelikle malzeme ölçeğinde ele alınması, tarihi binaların aktif sistemlere olan bağımlılığını azaltmak ve küresel iklim değişikliğine katkı sunacak yeni sorunların önüne geçilebilmesi adına önemlidir. Çalışma kapsamında okuyuculara sunulan öneriler şu şekilde özetlenebilir:

- Nem sorununa karşı doğal bir malzeme olan kil bariyerlerinin yığma duvarların önünde toprak seti olarak kullanımı önerilmiştir. Böylelikle suyun yapı kabuğu ile olan teması en aza indirilmiş; yapısal unsurlara ve kullanıcı konforuna zarar verebilecek nemin binadan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Ayrıca odun külünün kireç harcına %20-40 oranında eklenmesi ile harçların su emme özellikleri iyileştirilebilir.
- Tarihi yapıların kabuğunda soğuk renkli malzeme kullanımı ile yüzey sıcaklıklarında 8°C düşüş ve yazın soğutma için harcanan enerjide %3 azalma sağlanabilmektedir. Ayrıca avluların membran ile kapatılması, yıllık karbon salımını soğutmadan kaynaklı harcanan enerji üzerinden %6; ısıtmadan kaynaklanan enerji üzerinden ise %10 düşürebilmektedir.

- Kullanıcı konforunun sağlanması kaynak tüketimi ve çevresel etkilerin düşürülmesinde bir diğer kilit noktadır. FDM gibi yenilikçi teknolojilerin tarihi binalarda %10 oranında uygulanması enerji tüketimini %18'e kadar düşürebilmekte ve malzemenin termal iletkenliğini %22,5 oranında düşürebilmektedir.
- Yapılarda yeni malzeme kullanımı daha fazla ham madde ihtiyacı anlamına geldiğinden bunun yerine daha önceden kullanılmış malzemelere başvurulması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında etkilidir. Yapılan çalışmalarda %30 oranında seramik ve cam atıkları içeren kireç harcının su direncinin artırıldığı ve basınç dayanımında artış sağlandığı görülmüştür.
- Yapılarda yeşil yapı malzemelerinin kullanımı, atık kullanımına teşvik etmesi, insan sağlığına olan etkileri ve malzeme onarımları açısından doğal ve tarihi çevre üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Tayvan'da binanın iç yüzeylerinde %45 ve dış yüzeylerinde ise %10 oranında yeşil malzeme kullanım zorunluluğu bulunmaktadır.

Özetlenen çalışmaların önerdiği çözümler ve uygulama yöntemleri Tablo 6'da verilmiştir. Tüm bu önerilerin değerlendirilmesinde tarihi dokuya zarar verilmemesi, kullanıcı konfor ve sağlığının gözetilmesi ve doğal çevreye yönelik tahribatın önüne geçilmesi elzemdir. Sonraki çalışmalarda yapı çevre karşılaşılan çeşitli sorunlara dair yenilikçi teknoloji ve sistemler sürdürülebilir mimari çerçevesinde kapsamlı olarak ele alınabilir.

Tablo 6. Tarihi bina sorunlarına yapı malzemesi ölçeğinde öneride bulunan çalışmalar

Yapı sorunu	Malzeme ölçeğindeki olası çözümler	Araştırma metodu	Kaynak
Rutubet	Kil bariyeri	Saha uygulamaları Laboratuvar testleri	[6]
	Odun külü	Laboratuvar testleri	[7]
Enerji performansı	Soğuk renkli malzeme	Laboratuvar testleri Dinamik simülasyon	[8]
	Membran örtü	Dinamik simülasyon	[9]
Termal konfor	Termal kütle	Saha araştırmaları	[11]
	FDM uygulamaları	Laboratuvar testleri Dinamik simülasyon	[12]
Çevresel etki	Atık malzeme	Laboratuvar testleri	[13]
	Malzemelerin sınıflandırılması	Saha araştırması Sayısal hesaplamalar	[14]
İç mekân hava kalitesi	Yeşil yapı malzemesi	Yasal düzenlemelerin incelenmesi	[20]

Kaynakça

- [1] A.L., Webb, “Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.77, pp. 748-759, 2017.
- [2] B.M. Feilden, “Conservation of Historic Buildings”, 3rd ed., Londra, Architectural Press, 2003. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/>
- [3] A. Buda, E.J.P. Hansen, A. Rieser, E. Giancola, V.N. Pracchi, S. Mauri, V. Marincioni, V. Gori, K. Fouseli, C.S.P. Lopez, A. Lo Faro, A. Egusquiza, F. Haas, E. Leonardi and D. Herrera-Avellanosa, “Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach”, *Sustainability*, vol.13, no.5, 2021. DOI: 10.3390/su13052927
- [4] B. Sayın, “Tarihi yığma yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve uygulama önerileri”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, vol. 7, no. 3, pp. 387-398, 2016.
- [5] P.B. Lourenço, E. Luso, and M.G. Almeida, “Defects and moisture problems in buildings from historical city centres: a case study in Portugal”, *Building and Environment*, vol.41, no.2, pp.223-234, 2006.
- [6] M. Michette, R. Lorenz, and C. Ziegert, “Clay barriers for protecting historic buildings from ground moisture intrusion”, *Heritage Science*, vol.5, no.31, 2017.
- [7] L. Fusade, H. Viles, C. Wood, and C. Burns, “The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings”, *Construction and Building Materials*, vol.212, pp. 500-513, 2019.
- [8] F. Rosso, A.L. Pisello, V.L. Castaldo, M. Ferrero and F. Cotana, “On Innovative Cool-Colored Materials for Building Envelopes: Balancing the Architectural Appearance and the Thermal-Energy Performance in Historical Districts”, *Sustainability*, vol. 9, 2017.
- [9] M. De Vita, P. D’Antonio, Beccarelli and P. Berardinis, “Energy performance of film membranes in the retrofitting of Architectural Heritage: an Italian case study,” in *Proc. of the TensiNet Symposium*, Politecnico di Milano, Milan, Italy, 2019, pp. 624-633.
- [10] C.M.M. Gonzalez, A.L.L. Rodriguez, R.S. Medina and J.R. Jaramillo, “Effects of future climate change on the preservation of artworks, thermal comfort and energy consumption in historic buildings”, *Applied Energy*, vol. 276, 2020.
- [11] M. Alwetaishi, A. Balabel, A. Abdelhafiz, U. Issa, I. Sharaky, A. Shamseldin, M. Al-Surf, M., Al-Harthi and M. Gadi, “User Thermal Comfort in Historic Buildings: Evaluation of the Potential of Thermal Mass, Orientation, Evaporative Cooling and Ventilation”, *Sustainability*, vol. 12, 2020.
- [12] E. Baccaga and M. Bottarelli, “Granular PCM-Enhanced Plaster for Historical Buildings: Experimental Tests and Numerical Studies”, *Energies*, vol. 15, 2022.

- [13] A. Ayat, H. Bouzerd, T. Ali-Boucetta, A. Navarro and M.L. Benmalek, "Valorisation of waste glass powder and brick dust in air-lime mortars for restoration of historical buildings: Case study theatre of Skikda (Northern Algeria)", *Construction and Building Materials*, vol. 315, 2022.
- [14] F. Colmenero-Fonseca, A. Salas-Montoya, A. Preciado, J. Palomino-Bernal and J. Carcel-Carrasco, "Case Study on the Application of New Technologies for Construction Waste Management in a Historic Building in Jalisco, Mexico", *Advances in Civil Engineering*, Wiley, vol. 2024.
- [15] Y. Takva, Ç. Takva ve Z.Y. İlerisoy, "Sustainable Adaptive Reuse Strategy Evaluation for Cultural Heritage Buildings", *International Journal of Built Environment and Sustainability*, vol.10, no.2, pp.25-37, 2023.
- [16] K. Kertsmik, E. Arumagi, J. Hallik ve T. Kalamees, "Low carbon emission renovation of historical residential buildings", *Energy Reports*, vol. 11, pp. 3836-3847, 2024.
- [17] M.J. Jafari, A.A. Khajevandi, S.A.M. Najarkola, M.S. Yekaninejad, M.A. Pourhoseingholi, L. Omid and S. Kalantary, "Association of Sick Building Syndrome with Indoor Air Parameters", *Tanaffos*, vol. 14, no. 1, pp. 55-62, 2015.
- [18] Y. Zhang, P. K. Hopke and C. Mandin, "History and Perspective on Indoor Air Quality Research", *Handbook of Indoor Air Quality*, Springer, Singapore, 2022.
- [19] S. M. Khoshnava, R. Rostami, R. M. Zin, D. Streimikiene, A. Mardani and M. Ismail, "The Role of Green Building Materials in Reducing Environmental and Human Health Impacts", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, 2020.
- [20] W. Tsai, "Overview of Green Building Material (GBM) Policies and Guidelines with Relevance to Indoor Air Quality Management in Taiwan", *Environments*, vol. 5, no. 4, 2018.
- [21] A. Steinemann, P. Wargocki and B. Rismanchi, "Ten questions concerning green buildings and indoor air quality", *Building and Environment*, vol. 112., pp. 351-358., 2017.