CERTIFICATE

of participant

This certificate is presented to:

Asst. Dr., Kübra EKİZ BARIŞ

In oral and technical presentation, recognition and appreciation of research contributions to

“5. BİLSEL INTERNATIONAL ASPENDOS SCIENTIFIC RESEARCHES CONGRESS”

21-22 JUNE 2025, ANTALYA/ TÜRKİYE

with the paper entitled

“FIRE RESISTANCE OF PHASE CHANGE MATERIALS USED IN BUILDING ENVELOPES”

Assoc. Prof. Dr. Ahmet USLU
Head of Organization Committee



V. BİLSEL ULUSLARARASI ASPENDOS BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ

KONGRE KİTABI

21-22 HAZİRAN 2025 | ANTALYA

https://bilselkongreleri.com

5. BİLSEL INTERNATIONAL ASPENDOS SCIENTIFIC RESEARCHES CONGRESS BOOK

21-22 JUNE 2025,

ANTALYA/ TÜRKİYE

EDITOR
Assoc. Prof. Dr. İlyas ERPAY

11.07.2025

ISBN: '978-625-96953-9-6'

All rights of this book belong to BILSEL PUBLISHING.

The book is not intended for commercial profit.
It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Bu kitabın tüm hakları BİLSEL YAYINCILIK yayınevine aittir.
Kitap ticari bir kar amacı gütmemektedir.
Yayın etiği kurallarına uymak yazarın sorumluluğundadır.

https://bilselkongreleri.com/

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law.

CONGRESS ID
CONGRESS TITLE

5. BİLSEL INTERNATIONAL ASPENDOS SCIENTIFIC RESEARCHES CONGRESS

DATE and PLACE

21-22 JUNE 2025,

ANTALYA/ TÜRKİYE

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman of the Organizing Committee

Assoc. Prof. Dr. Ahmet USLU

University Academician Representative

Prof. Dr. Ümit Muhammed KOÇYİĞİT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Murat KARAOĞLU

Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Prof. Dr. Süleyman GÖKSOY

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat LEBE

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT

Dicle Üniversitesi

Dr. Emre ALTAŞ

Bartın Üniversitesi

Dr. Onur OKTAYSOY

Kafkas Üniversitesi

Dr. Derya KARATAŞ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

Prof. Dr. Ardita Dylgjeri

Prof. Dr. Benahmed Abdelillah

Prof. Dr. Boualam Abderrahmane

Prof. Dr. h.c. Vicente Pironti

Prof. Dr. Mehmet Bayırlı

Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Prof. Dr. Hasan SERİN

Doç. Dr. İlyas ERPAY

Doç. Dr. Kadir GÖKOĞLAN

Doç. Dr. Cihan KÜRKÇÜ

Doç. Dr. Sedat ARSLAN

Doç. Dr. Hasan Mansur DURGUN

Assoc. Prof. Mokhtar NEBAB

Assoc. Prof. Gergana Gozanska Plovdiv

Assoc. Prof. Ganaoui Maroua

Dr. Mustafa ÜSTÜNDAĞ

Dr. Başak Tuna

Dr. Vijay Singh

Dr. Alireza Moghaddasi

Dr. Haneen Vasel

PARTICIPANTS COUNTRY

Algeria/Azərbaycan/Albania/Brazil/ India/Indonesia/Hungary
Georgia/Kosova/Nigeria/North Macedonia/Morocco/Pakistan/Romania/Serbia/Ukrania

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr.Valbon Ademi

University of Tetovo, North Macedonia

Prof. Dr Valentina Marinescu

University of Bucharest

Prof. Dr. h.c. Vicente Pironti

Open University Humaniza, Brazil

Prof. Dr. Karim KREIT

Cadi Ayyad University, Moracco

Prof. Dr. Mohammed Waheeb

Hashemite University,Jordan

Prof. Dr.Nana Jincharadze

European University Georgia

Prof. Dr. Shemsije Demiri

Hıgh Economıc School- Gostivar North Macedonia

Prof. Dr. Tinatin Mshvidobadze

Gori State University (Georgia)

Prof. Dr. Alaeddin BOBAT

Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Bayırlı

Balıkesir Üniversitesi

Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan SERİN

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Postolache Victoria

Alecu Russo Balti State University, Moldova

Assoc. Prof. Dr. Irina-Teodora MANOLESCU

Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania

Assoc. Prof. Dr. Silviya Ivanova

Institute of Cryobiology and Food Technology, Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Rozina Khattak

Shaheed Benazir Bhutto Women University, Pakistan

Assoc. Prof. Dr. Mokhtar NEBAB

University of Boumerdes ALGERIA

Assoc. Prof. Dr. Gergana Gozanska Plovdiv

University "Paisii Hilendarski", Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Ganaoui Maroua

University of Chadli Ben Djedid El-tarf and Souk Ahras university, Algeria

Assoc. Prof. Dr. Abdullayeva Gultekin

Azerbaijan State Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Məmmədova Könül Ələddin qızı

ADPU-Azerbaijan

Doç. Dr. Ebru YILMAZ

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Doç. Dr. Çağatay YAMÇIÇIER

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Doç. Dr. Derya ÇAYIR

Sağlık Bilimleri Üniversitesi

Doç. Dr. H. Burçin HENDEN ŞOLT

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Doç. Dr. Pervin ERDOĞAN

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Özlem Gündoğdu AYTAÇ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Dr. Eyüp SIRAMKAYA

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Dr. Meryem Pir

Kocaeli Üniversitesi

Dr. Özlem PERVAN

Maltepe Üniversitesi

Dr. Özgür ERDAĞ

Kafkas Üniversitesi

Dr. Cansın CEYLAN

Kırklareli Üniversitesi

Dr. Melike YALÇIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Dr. Sultan SARI

Ostim Teknik Üniversitesi

Dr. Çağrı GÜÇLÜTEN

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Onur OKTAYSOY

Kafkas Üniversitesi

Dr. Vijay Singh

Himachal Pradesh University Shimla India

Dr. Alireza Moghaddasi

Imam Reza International University,Iran

Dr. Haneen Vasel

Beit Berl College

Dr. Ülker Baxşiyeva

Azerbaijan State Pedagogical University

Dr. Alan Reed Libert

University of Newcastle, Australia and Khazar University, Baku

Dr. Ihor Ponomarenko

State University of Trade and Economics, Ukrania

Dr. Irina-Ana DROBOT

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Romania

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI

University of Tizi Ouzou, Algeria

Dr. Onwudebelu Ugochukwu

Alex Ekwueme Federal University of Ndufu-Alike Ikwo (AE-FUNAI),Nigeria.

Dr. Ioana Ioancio

Faculty of Medicine "Carol Davila" Bucharest, Romania

Dr. Sharmistha Roy

University of Nevada, Las Vegas, USA

Dr. Drita AVDYLI

Mediterranian University of ALBANIA

YAPI KABUĞUNDA KULLANILAN FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN YANGINA KARŞI DAYANIKLILIĞI

Mimar, Berfin ALKAN1/ Dr. Öğr. Üyesi, Kübra EKİZ BARIŞ2
1 Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, 245144014@kocaeli.edu.tr, orcid.org/0009-0007-4357-082X
2 Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, kubra.ekizbaris@kocaeli.edu.tr, orcid.org/0000-0002-3830-7185

Özet

Yüksek oranda ısı enerjisi depolayabilme kapasitesine sahip olan faz değiştiren malzemeler (FDM), yapı kabuğunda kullanıldığında, iç mekandaki sıcaklık dalgalanmalarını azaltmakta, sürekli olarak ısıl konforun sağlanmasına destek olmakta ve böylece binaların ısıtma ve soğutma enerjisi gereksinimlerini azaltmaktadır. Günümüzde çok sayıda ticari FDM türü yapı sektöründe aktif olarak kullanılabilmektedir. FDM entegre edilmiş yapı malzemelerinde, katı-sıvı faz dönüşümü genellikle iç ortam sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Ancak, bir yangın sırasında, yapı malzemeleri 800 °C'ye ulaşan önemli ölçüde yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Yangın sırasında FDM, içerisine hapsedildiği kapsülden sızabilmekte ve yanan ortama salınan FDM buharının alev almasıyla yangın yükü artarak binanın yangın güvenliği olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu araştırmanın amacı, yapı kabuğunda sıklıkla kullanılan FDM'lerin yangına karşı dayanıklılıklarını belirlemek, yangın etkisi altında ideal performans sağlayan FDM türleri saptamak ve yangına karşı daha dayanıklı FDM üretimi için uygulanması gereken yöntemleri tespit etmektir. Çalışmada farklı FDM türlerinin yangın riskleri araştırılmış ve bu risklerin minimize edilmesi için literatürde yer alan uygulamalar incelenmiştir. Çalışma sonucunda, inorganik esaslı FDM'lerin düşük yanıcılık riskine karşılık, parafin ve yağ asitleri gibi organik FDM'lerin yüksek yanıcılık riski olduğu belirlenmiştir. Yangın risklerini azaltmak, doğrudan FDM karışımına ya da FDM yüzeyine yangın geciktiricilerin eklenmesini gerektirmektedir. Bu amaçla geliştirilen dört farklı türde yangın geciktirici malzeme kombinasyonları halihazırda kullanılmaktadır. Yangına karşı direnci arttırılmış yenilikçi FDM alternatiflerinin üretilebilmesi için deneysel çalışmalar yapılmalı, özellikle inorganik ve hibrit FDM türleri üzerine odaklanmalıdır. Mevcut yangın yönetmeliklerine yapı kabuğunda FDM kullanımı koşullarını içeren güncel bölümler eklenmelidir. Yapı kabuğuna entegre edilen FDM'lere büyük ölçekli yangın testleri uygulanarak malzemenin gerçek yangına dayanıklılığı tespit edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren malzeme, yapı kabuğu, yangın, yangın dayanıklılığı,

FIRE RESISTANCE OF PHASE CHANGE MATERIALS USED IN BUILDING ENVELOPES

Abstract

Phase change materials (PCM), which have a high capacity to store thermal energy, when used in the building envelope, reduce indoor temperature fluctuations, continuously support thermal comfort, and thereby reduce the heating and cooling energy requirements of buildings. Nowadays, many commercial types of PCM can be actively used in the construction sector. In PCM-integrated construction materials, the solid-liquid phase transition generally occurs at ambient temperatures. However, during a fire, building materials can be exposed to significantly high temperatures reaching 800 °C. During a fire, PCM can leak from the capsule it is contained in, and the ignition of the PCM vapor released into the burning environment increases the fire load, negatively affecting the fire safety of the building. The aim of this research is to determine the fire resistance of PCMs commonly used in building envelopes, identify the types of PCMs that provide ideal performance under fire conditions, and identify the methods that should be applied to produce PCMs with greater fire resistance. In the study, the fire risks of different PCM types were investigated, and the applications in the literature for minimizing these risks were examined. As a result of the study, it was determined that inorganic-based PCMs have a low flammability risk, whereas organic PCMs such as paraffin and fatty acids have a high flammability risk. Reducing fire risks requires the addition of fire retardants directly to the PCM mixture or to the PCM surface. Four different types of fire retardant combinations developed for this purpose are currently in use. Experimental studies should be conducted to produce innovative PCM alternatives with increased fire resistance, focusing particularly on inorganic and hybrid PCM types. Current fire regulations should be updated to include sections on the conditions

for using PCM in building envelopes. Large-scale fire tests should be conducted on the PCM-integrated building envelope to determine the real fire resistance of these materials.
Keywords: Phase change material, building envelope, fire, fire resistance

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler (BM), 1983 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nu kurmuş ve 1987'de Ortak Geleceğimiz (Our common future ya da Brundtland raporu) olarak adlandırılan bir rapor yayınlamıştır (UN, 1987). Bu raporda sürdürülebilir bir toplum, mevcut ihtiyaçlarımızı gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğini tehlikeye atmadan karşılayan bir toplum olarak tanımlanmaktadır. 1992'de Brezilya'da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansında geliştirilen Gündem 21 (Agenda 21), ekonomik, sosyal ve çevresel konuların ayrı ayrı ele alındığını, ancak bunların sürdürülebilirliğin farklı boyutları olarak görülmesi gerektiğini yayınlamıştır (UN, 1992). Aynı bakış açısıyla, 2015 yılında BM 17 önemli hedefi içeren 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ni yayınlayarak sürdürülebilir bir toplum yaratmak için birlikte nasıl çalışılabileceği ve neler yapılabileceği ile ilgili değerlendirmeleri sunmuştur (UN, 2016). Hedef 11, özellikle güvenli ve sürdürülebilir şehirler ve insan yerleşimleri oluşturmayı amaçlamaktadır (UN, 2024.). Bir diğer deyişle, bu Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri "sürdürülebilir bir yapılı çevre" tasarlama fikrinin oluşmasını teşvik etmiştir. Bu tarihten itibaren, sürdürülebilir bina tasarımını geliştirmek amacıyla LEED, BREEAM, GREEN STAR gibi binaların içerilmiş karbon oranını azaltmaya yönelik çeşitli düzenlemeler geliştirilmeye başlanmıştır (McNamee ve Meacham, 2025). Daha sonra, Avrupa Enerji Birliği, iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik ileriye dönük bir politika geliştirme çabasıyla dayanıklı bir enerji birliği oluşturmak için beş ana strateji belirlemiştir. Bu stratejilerden biri özellikle enerji verimliliği ile ilgilidir ve Enerji Verimliliği Yönetmeliği ve Binaların Enerji Performansı Yönetmeliğinin de desteğiyle neredeyse sıfır-enerjili bina tasarımını teşvik etmektedir (EEA, 2015). Dünya genelinde artan CO2 emisyonları ve iklim değişikliği karşısında, Avrupa Komisyonu 2021 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin revize edilmesini Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar iklim nötrlüğü hedefine uygun olarak önermiştir (Directive EU 2024/1275, 2024). 2024 yılında yeni bir Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği versiyonu yayınlanmıştır (EPBD, 2024). Buna göre, tüm yeni binalar 2030 yılına kadar bu standarda uygun olmalı, binalarda güneş enerjisi kullanımı teşvik edilmeli ve binaların hizmet ömrü boyunca emisyonları azaltacak şekilde yaşam döngüsü kavramı geliştirilmelidir. Söz konusu gereksinimleri karşılayabilecek binaları inşa edebilmek için, bu binaların enerji gereksinimlerini daha fazla azaltacak yenilikçi yapı malzemeleri üretme ihtiyacı doğmuştur.

Yüksek oranda ısı enerjisi depolayabilme kapasitesine sahip olan faz değiştiren malzemeler (FDM), özellikle yapı kabuğunda kullanıldığında, binaların ısıtma ve soğutma enerjisi gereksinimlerini geleneksel malzemelere nazaran daha fazla azaltan yenilikçi yapı malzemelerinden biridir. Bu malzemeler gündüzleri güneşten aldıkları ısıyı emerek bünyelerinde depolamakta ve katı halden sıvı hale geçmektedir. Gece saatlerinde dış ortam sıcaklığı azaldığında ise, FDM'ler depolamış oldukları ısı enerjisini yavaş yavaş serbest bırakarak iç mekânda sürekli bir ısıl konfor sağlanmasına yardımcı olmaktadır (da Cunha ve diğ., 2020; Feng ve diğ., 2022). Böylece, aktif ısıtma ve soğutma sistemlerine olan bağımlılığı azaltmakta ve binalarda geliştirilmiş bir termal atalet sağlamaktadır. FDM'leri yapı kabuğuna entegre etmek, enerji verimliliğini, termal konforu ve yapının dayanıklılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Böylece, küresel iklim değişikliğine karşı önlem alma ve yüksek enerji verimliliği sağlama konusunda yapı sektöründe sürdürülebilir ve maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır.

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Günümüzde çok sayıda FDM türünün yapı sektöründe kullanımının oldukça yaygın olduğu bilinmektedir. Yapılan akademik ve uygulamalı çalışmalar, FDM'lerin yapı kabuğunda ideal kullanım yöntemlerinin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Ticari olarak temin edilebilen FDM entegre edilmiş yapı malzemelerinde, katı-sıvı faz dönüşümü genellikle iç ortam sıcaklıklarında (20–26 °C) gerçekleşmektedir. Ancak, bir yangın sırasında, yapı malzemeleri 800 °C'ye ulaşan önemli ölçüde yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmektedir (Walton ve diğ., 2015). Bu durumda yangın sırasında FDM içerisine hapsedildiği kapsülden sızabilmekte ve yanan ortama FDM buharı

salınabilmektedir (Sittisart ve Farid, 2011). Ortama salınan bu FDM buharının alev almasıyla yangın yükü artarak binanın yangın güvenliği olumsuz yönde etkilemektedir (Cai ve diğ., 2006). Bu bilgiler doğrultusunda, FDM'lerin yangın karşısındaki davranışlarını belirlemek önem arz etmektedir. Bundan dolayı, bu araştırmanın amacı, yapı kabuğunda sıklıkla kullanılan farklı türdeki FDM'lerin yangına karşı dayanıklılıklarını belirlemek, yangın etkisi altında ideal performans sağlayan FDM türlerini saptamak ve yangına karşı daha dayanıklı FDM üretimi için uygulanması gereken yöntemleri tespit etmektir.

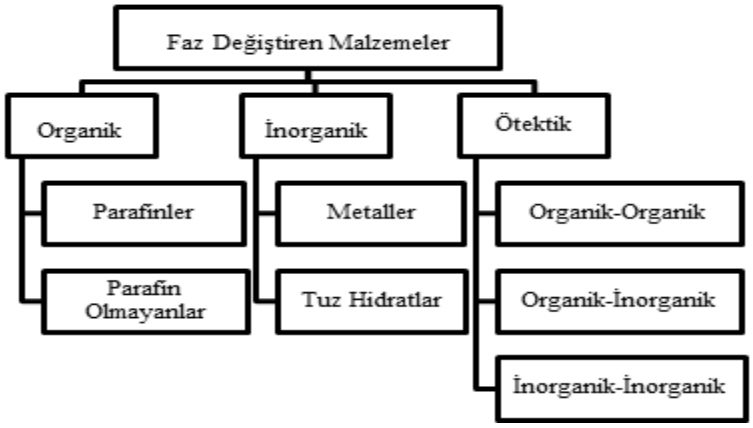
2. YÖNTEM

Yapı kabuğunun ısıl ve enerji performansı üzerindeki etkinliğinin bu denli yüksek olduğu bilenen FDM'lerin yangına karşı dayanıklılığını araştırmak üzere başlatılan bu çalışmada, öncelikle detaylı literatür araştırması yapılmıştır. Detaylıca incelenen literatür kaynakları vasıtasıyla yapı kabuğunda yaygın olarak kullanılan FDM türleri ve sınıflandırılması belirlenmiştir. Diğer yandan, yapı kabuğunda yangın konusu araştırılarak yapı malzemelerinin yangın karşısındaki davranışı tespit edilmiştir. Daha sonra, çalışma kapsamı FDM türlerinin yangın davranışını incelemek üzere daraltılmış ve FDM'lerin yangına karşı dayanıklılığını artırmaya yarayan yöntem ve ek malzeme kullanım olanakları tespit edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Yapı Kabuğunda Kullanılan FDM Türleri

Yapı kabuğu bileşenlerinden biri olan dış duvarlara FDM entegre etmek, yapı kabuğunun ısı depolama kapasitesini önemli ölçüde arttıran bir uygulamadır. Böylece iç mekandaki termal konfor koşulları uzun süreli sağlanmakta ve binanın mekanik sistemlerle ısıtma ve soğutma yükü azaltılmaktadır (Liu ve diğ., 2022). FDM'ler farklı kimyasal yapılarından dolayı organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. FDM'lerin sınıflandırılması (Zalba ve diğ., 2003)

Organik FDM'ler; parafin mumları, esterler, asitler ve alkollerden oluşmaktadır (Bruno ve diğ., 2014). Bu malzemeler, parafin ve parafin içermeyen organik bileşikler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Parafin içermeyen türleri yağ asitleri, alkoller ve glikoller olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadır. Yanıcı özellikte olduklarından dolayı, yüksek sıcaklıklara, alevlere veya oksitleyici maddelere maruz bırakılmamaları gerekmektedir (Sharma ve diğ., 2009).

İnorganik FDM'ler, metaller ve tuz hidratları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tuz hidratlara, sodyum asetat trihidrat, kalsiyum klorür hekzahidrat, sodyum sülfat dekahidrat, sodyum tiyosülfat pentahidrat ve baryum hidroksit oktahidrat gibi bileşikler örnek olarak verilebilir. Bu tür tuz hidratları, düşük maliyetli olmaları nedeniyle özellikle araştırma ve geliştirme çalışmalarında tercih edilmektedir (Verma ve Singal, 2008).

Ötektik karışımlar, en az iki farklı atom veya molekülün birleşimiyle meydana gelmektedir. Bu malzemeler, sabit bir sıcaklıkta katılaşırken bir reaksiyon geçirir ve bu süreçte sıvı haldeki malzeme, iki ayrı katı faza dönüşür. Organik-organik, organik-inorganik ve inorganik-inorganik olarak iki veya daha fazla bileşiğin karışımı ile oluşurlar (Sharma ve diğ., 2009).

3.2. Yapı Malzemelerinin Yangın Davranışı

Yapı malzemeleri yönetmeliği (Construction Products Regulation) (305/2011/AB), yapı malzemelerinin temel özellikleri ile ilgili performans beyanlarının ve malzemelere CE işareti verilmesinin kurallarını oluşturarak yapı malzemelerinin piyasaya arz edilmesi ve piyasada bulundurulması ile ilgili usul ve esasları belirlemektir (EU, 2011). CE işareti bir yapı malzemesinin ilgili yönetmeliğin tüm gereksinimlerini karşıladığı anlamına gelen ve Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında malların serbest dolaşımını sağlayan bir işarettir. Yapı malzemeleri yönetmeliğine göre, yapı malzemeleri yapı işlerinin aşağıdaki 7 temel gereksinimi karşılayacak şekilde performans göstermesini sağlamalıdır (EU, 2011):

1. Mekanik dayanım ve stabilite
2. Yangına tepki/yangına dayanıklılık
3. Hijyen, sağlık ve çevre
4. Kullanım sırasında güvenlik ve erişilebilirlik
5. Akustik performans
6. Enerji tasarrufu ve ısı yalıtımı
7. Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı

Yukarıda sözü edilen gereksinimler incelendiğinde, bir yapı malzemesinin yangına karşı dayanıklılığının, mekanik dayanımın hemen ardından gelecek şekilde, önemli olduğu anlaşılmaktadır. Yapı malzemelerinin yangın davranışı, Avrupa Yangın Sınıflandırma Standardı (EN 13501) doğrultusunda sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde de geçerli olan bu standarda göre, yangın sınıflandırması iki ana kategoriye ayrılmaktadır: (i) alevlenme özelliklerini ve alev yayılmasını karakterize eden ve yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma (TS EN 13501-1, 2019); (ii) tam gelişmiş bir oda yangınına karşı malzemenin yangına direnç gösterme yeteneğini karakterize eden ve duman kontrol deneylerinden elde edilen verileri kullanarak sınıflandırma (TS EN 13501-2, 2023).

Yapı malzemelerinin TS EN 13501-1'e göre yanıcılık sınıfları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, A1 sınıfı malzemeler (örn. beton, taş, seramik, cam) yanmaz ve yangının ilerlemesine katkı sağlamamaktadır. A2 sınıfı malzemeler (örn. alçıpan, taşyünü) pratikte yanmaz ancak düşük düzeyde duman yayarak yangına sınırlı katkı sağlamaktadır. B sınıfı malzemeler (örn. yangına dayanıklı ahşap kaplama) çok zor alev almakta ve düşük yangın yüküne sahiptir. Bazı laminant kaplamaları içeren C sınıfı malzemeler zor alev almakta, orta düzeyde duman salmakta ve kısa süreli damlamaya yol açabilmektedir. D ve E sınıfı malzemeler normal alev almakta, yangına karşı kısa süreli dayanım sergilemekte ve genellikle orta düzeyde duman salmaktadır. F sınıfı ise kolay alev alan malzemeleri kapsamaktadır.

Tanım/performans	Sınıf	Duman üretimi	Alevli damlama/parçacık
Yanmaz	A1	yok	yok
Zor yanıcı	A2	s1	d0
Zor alevlenici	A2-s2, d0	s2	d0
	B, C-s1, d0	s1	d0
	A2, B, C-s3, d0	s3	d0
	A2, B, C-s1, d1	s1	d1
	A2, B, C-s1, d2	s1	d1
(en az)	A2, B, C-s3, d2	s3	d2
Normal alevlenici	D-s1, d0	s1	d0
	D-s2, d0	s2	d0
	D-s3, d0	s3	d0
	E		
Kolay alevlenici	F		
s1: çok az duman, s2: orta düzeyde duman, s3: yoğun duman, d0: alevli damlama yok, d1: kısa süreli damlama, d2: yoğun alevli damlama/parçacık			

Tablo 1. Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfı (TS EN 13501-1, 2019).

3.3. FDM'lerin Yangın Davranışı

Organik FDM'ler (parafin, esterler, asitler ve diğer organik bileşenler) kolay alevlenici malzemeler (Png ve diğ., 2022) olduğundan uygulandıkları yapı kabuğunun, dolayısıyla binanın, yangın güvenliğini riske atmaktadır. Farklı türdeki faz değiştiren malzemelerin yangın risklerine ilişkin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir (Ovadiuc ve diğ., 2024):

FDM türü		Malzeme	Yanma ısısı (°C)	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Yangına karşı davranışı	Yangın riski
İnorganik esaslı	Tuz hidratları	Sodyum sülfat dekahidrat	-	-	Yanıcı değil, minimum yangın riski	Düşük
		Kalsiyum klorür heksahidrat	-	-		
Organik esaslı		Parafin	~ 42	220-250	Düşük alevlenme noktası, hızlı yanma, yanarken önemli miktarda ısı üretimi	Yüksek
		Yağ asitleri	~ 39	~ 250	Nispeten düşük tutuşma sıcaklığı, yüksek yanma ısısı	
		Polietilen glikol	~ 30	~ 300	Parafinden daha yüksek tutuşma sıcaklığına sahip yanıcı	Orta
Biyo-esaslı		Soya mumu	~ 40	200-300	Düşük tutuşma sıcaklığına ve yüksek yanma ısısına sahip	Yüksek
		Balmumu	~ 39	204-226	Alev alıcı, soya mumu ile benzer yanma ısısı ve tutuşma sıcaklığına sahip	Yüksek

Tablo 2. Farklı türdeki faz değiştiren malzemelerin yangın riski.

Söz konusu malzemelerin alevlenebilirliğini azaltmak için birkaç yöntem uygulanmaktadır. Bir yöntemde, FDM bir kompozit blok içinde kapsüllenmekte ve ardından bu kapsül, yanmaz betonla çevrili bir yapı bloğunun (beton briket gibi) boşluğuna yerleştirilmektedir (Salyer, 1998). Bir diğer yöntemde, PCM'yi yüksek yoğunluklu polietilenle karıştırarak şekil stabilize edilmiş PCM olarak bilinen formları üretmişlerdir. Bu malzeme, binaların yapı elemanlarında ya da iç mekân mobilyalarında kullanılmak üzere herhangi bir şekle dönüştürülebilir. Ancak hem polimer hem de PCM yangın tehlikesini artırmakta ve uygun yangın geciktiricilerin kullanılmasını gerektirmektedir (Cai ve diğ., 2006).

Deneysel bir araştırma bulgularına göre, %24 oranında parafin-esaslı FDM içeren bir alçı duvar panelinin yangına karşı direnci FDM içermeyen geleneksel alçı panele nazaran oldukça azalarak binanın yangın güvenliği gereksinimini karşılamada başarısız olmuştur (Banu ve diğ., 1998). Yangın sırasında parafin fazını değiştirip buhar haline dönüşerek kapsülünden sızma ve alçı duvar panelinin boşluklu içyapısından salınma eğilimindedir. Bu parafin buharı, yangının yüksek sıcaklıkları tarafından alevlenerek binanın yangın yükünü artırmakta ve yangın güvenliğini azaltmaktadır (Cai ve diğ., 2006).

Araştırmacılar, bina cephelerinde organik PCM'lerin kullanımının yangın güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmanın bir yolu olarak yangın geciktiricilerin kullanımına yönelmişlerdir (Sittisart ve Farid, 2011). Bir dizi küçük ve orta ölçekli test, yangın geciktiriciler eklenmesinin FDM'lerin genel yangın güvenliğinde gözlemlenebilir iyileşmelere yol açabileceğini göstermiştir (Sittisart ve Farid, 2011; Cai ve diğ., 2006).

FDM'lerin üretim sürecinde karıştırılma aşamasında doğrudan eklenerek ya da yüzey kaplamaları olarak FDM'ye entegre edilen yaygın olarak kullanılan dört tür yangın geciktirici vardır (Sittisart ve Farid, 2011):

En yaygın kullanılan ve "alev söndürücü" olarak adlandırılan malzemelerdir. Halojenlenmiş alkanlar, yakınlardaki alev kaynağını sınırlama veya söndürme yeteneğine sahiptir.

"Isı emici" olarak adlandırılan malzemeler. Magnezyum hidroksit ve alüminyum hidroksit gibi, çevresinden ısı emen ve endotermik olarak ayrışarak yakınındaki malzemenin ısınmasını önleyen ve dolayısıyla yanmasını en aza indiren maddelerdir.

Nispeten yeni olan, "intümesan yangın geciktirici" olarak adlandırılır. Amonyum polifosfat + pentaeritritol veya genişletilmiş grafit gibi malzemeler yaygın örneklerdir. İntümesan yangın geciktiriciler altta yer alan malzemenin daha fazla ateşleme kaynağına maruz kalmasını önleyen hacimli bir kömür tabakası oluşturarak çalışmaktadır.

"Sinerjist olarak" bilinir ve iki veya daha fazla yangın geciktiricinin bir arada çalışarak bir malzemenin genel yangın geciktiriciliğini artırdığı uygulamalardır. Örneğin, montmorillonit kil, ısı emici ve şişen yangın geciktirici ile birlikte çalışan bir yangın geciktiricidir (Cai ve diğ., 2007; 2009). Ayrıca, amonyum polifosfat genleştilmiş grafit ile birlikte kullanılarak yangın geciktiriciliği daha fazla artırılabilmektedir (Cai ve diğ., 2008a; 2008b). Etilen–vinil asetat ve düşük yoğunluklu polietilen içeren bir polimer karışımına farklı kombinasyonlarda nanokil, magnezyum hidroksit ve alüminyum tri-hidroksit eklemenin etkisi araştırılmıştır. Test sonuçları, nanokil ve alüminyum tri-hidrosidin kombinasyonunun en iyi yangın geciktirici performansı sergilediğini göstermiştir (Zhang ve diğ., 2009a). Ayrıca, yüksek yoğunluklu polietilen/parafin esaslı PCM'nin yangın davranışı üzerinde genleştilmiş grafitin (Zhang ve diğ., 2010) ve demir tozu ve intümesan yangın geciktiricinin etkileri (Zhang ve diğ., 2009b). Genleştilmiş grafit eklemek hem yangın geciktiriciliğini hem de termal iletkenliği artırırken, demir tozu ve intümesan geciktirici eklemek de yalnızca yangın geciktiriciliğini artırmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

FDM'ler gizli ısı depolama yetenekleri sayesinde iç mekân sıcaklıklarını stabilize ederek ısıl konfor sağlamakta, böylece aktif ısıtma ve soğutma sistemlerine olan bağımlılığı azaltmakta, binaların enerji verimliliğini artırmakta ve CO2 emisyonlarını azaltmaktadır. Ancak birçok FDM türünün yanıcı olması bina inşaatında güvenli bir şekilde uygulanmalarını sağlamada önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu araştırmadan çıkarılabilecek sonuç ve öneriler şu şekilde özetlenebilir:

- Tuz hidratları gibi inorganik FDM'lerin düşük yanıcılık riskleri bulunmaktadır. Diğer yandan, parafin ve yağ asitleri gibi organik FDM'ler özellikle yanıcıdır.
- Yangın risklerini azaltmak, FDM karışımına ya da yüzeyine alev geciktiricilerin eklenmesini gerektirmektedir. Bu amaçla geliştirilen dört farklı türde yangın geciktirici malzeme kombinasyonları halihazırda kullanılmaktadır.
- Yangına karşı direnci arttırılmış yenilikçi FDM alternatiflerinin üretilebilmesi için deneysel çalışmalar yapılmalı, özellikle inorganik ve hibrit FDM türleri üzerine odaklanılmalıdır.
- Mevcut yangın yönetmeliklerine yapı kabuğunda FDM kullanımı koşullarını içeren güncel bölümler eklenmelidir. FDM esaslı yapı kabuğunun yangına karşı tasarımına ilişkin kurallar söz konusu yönetmeliklerde açıkça belirtilmelidir.
- Simülasyon yöntemine dayanan araştırmalar yangın koşullarında FDM'nin davranışını derinlemesine anlamayı ve çeşitli güvenlik protokolleri oluşturmayı amaçlamalıdır.
- Küçük ve orta ölçekli deneyler yerine, yapı kabuğuna entegre edilen FDM'lerin davranışını araştırmak üzere büyük ölçekli yangın testleri yapılmalı ve malzemenin gerçek yangına dayanıklılığının daha iyi anlaşılmasını sağlanmalıdır.
- Akıllı sensör gibi gelişmiş teknolojili yangın koruma sistemleriyle FDM içeren yapı kabuğunu entegre eden kapsamlı tasarım stratejileri geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Banu, D., Feldman, D., Haghighat, F., Paris, J., & Hawes, D. (1998). Energy-storing wallboard: Flammability tests. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(2), 98–105. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:2(98)

- Cai, Y., Hu, Y., Song, L., Kong, Q., Yang, R., Zhang, Y., Chen, Z. & Fan, W. (2007). Preparation and flammability of high density polyethylene/paraffin/organophilic montmorillonite hybrids as a form stable phase change material. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 462–469. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.021

- Cai, Y., Hu, Y., Song, L., Tang, Y., Yang, R., Zhang, Y., Chen, Z. & Fan, W. (2006). Flammability and thermal properties of high density polyethylene/paraffin hybrid as a form-stable phase change material. *Journal of Applied Polymer Science*, 99, 1320–1327. https://doi.org/10.1002/app.22065

- Cai, Y., Song, L., He, Q. L., Yang, D. D., & Hu, Y. (2008b). Preparation, thermal and flammability properties of a novel form-stable phase change materials based on high density polyethylene/poly (ethylene-co-vinyl acetate)/organophilic montmorillonite nanocomposites/paraffin compounds. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2055–2062. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.013

- Cai, Y., Wei, Q., Huang, F., & Gao, W. (2008a). Preparation and properties studies of halogen- free flame retardant form-stable phase change materials based on paraffin/ high density polyethylene composites. *Applied Energy*, 85(8), 765–75. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.10.017

- Cai, Y., Wei, Q., Shao, D. F., Hu, Y., Song, L., & Gao, W. (2009). Magnesium hydroxide and microencapsulated red phosphorus synergistic flame retardant form stable phase change materials based on HDPE/EVA/OMT nanocomposites/paraffin compounds. *Journal of the Energy Institute*, 82(1), 28–36. https://doi.org/10.1179/014426008X370988

- da Cunha, S. R. L., & de Aguiar, J. L. B. (2020). Phase change materials and energy efficiency of buildings: a review of knowledge. *Journal of Energy Storage*, 27, 101083. https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101083

- DIRECTIVE (EU) 2024/1275. (2024). *Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings*. Available online: https: //eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive (Accessed in 05.04.2025)

- EEA COM(2015) 80 Final. (2015). *A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy*. Available online: https://www. eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-80-final (Accessed in 06.04.2025)

- EPBD. (2024). *A Treasure Chest of Opportunities to Accelerate Building Decarbonisation*. Available online: https://www. bpie.eu/publication/the-epbd-decrypted-a-treasure-chest-of-opportunities-to-accelerate-building-decarbonisation/ (Accessed in 06.04.2025)

- EU, in: E. Parliament (2011). *Construction Products Regulation (CPR)*, EU:Bryssel.

- Feng, G., Wang, T., He, N., & Wang, G. (2022). A review of phase change materials. *E3S Web of Conferences*, 356, 01062, 1–7. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235601062

- Liu, Z., Zang, C., Zhang, Y., Jiang, J., Yuan, Z., Liu, G., & Li, H. (2022). Mechanical properties and antifreeze performance of cement-based composites with liquid paraffin/diatomite capsule low-temperature phase change. *Construction and Building Materials*, 341, 127773. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127773

- McNamee, M., & Meacham, B. J. (2025). Conceptual basis for a sustainable and fire resilient built environment. *Fire Technology*, 61, 29–62. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01490-9

- Ovadiuc, E. P., Calotă, R., Năstase, I., & Bode, F. (2024). Integration of phase-change materials in ventilated façades: A review regarding fire safety and future challenges. *Fire*, 7(7), 244. https://doi.org/10.3390/fire7070244

- Png, Z. M., Soo, X. Y. D., Chua, M. H., Ong, P. J., Suwardi, A., Tan, C. K. I., Xu, J. & Zhu, Q. (2022). Strategies to reduce the flammability of organic phase change Materials: A review. *Solar Energy*, 231, 115–128. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.11.057

- Salyer, I. O. (1998). Building products incorporating phase change materials and method of making the same. *Patent No.* 5755216.

- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318–345. https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005

- Sittisart, P., & Farid, M. M. (2011). Fire retardants for phase change materials. *Applied Energy*, 88(9), 3140–3145. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.005

- TS EN 13501-1. (2019). Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.

- TS EN 13501-2. (2023). Yapı mamülerinin ve yapı elemanlarının yangın sınıflandırması - Bölüm 2: Havalandırma hizmetleri hariç, yangına direnç ve/veya duman kontrol deneylerinden elde edilen verileri kullanarak sınıflandırma. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- UN. (1987). Our Common Future/World Commission on Environment and Development. *Oxford University Press*. Available online: https://sustainabledevelopment.un.org/conte nt/documents/5987our-common-future.pdf (Accessed in 05.04.2025)

- UN. (1992). Agenda 21. Available online: https://sdgs.un.org/publications/agenda21 (Accessed in 03.04.2025)

- UN. (2016). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Available online: https://sdgs.un.org/documents/a res701-transforming-our-world-2030-agen-21254 (Accessed in 03.04.2025)