CERTIFICATE
OF PARTICIPATION

THIS CERTIFICATE IS PROUDLY PRESENTED TO

This certificate is proudly presented to

Kübra Ekiz BARIŞ

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

4. INTERNATIONAL CONGRESS ON CONSTRUCTION MATERIALS ENGINEERING AND ARCHITECTURE
December 15, 2024 / Adana, Türkiye

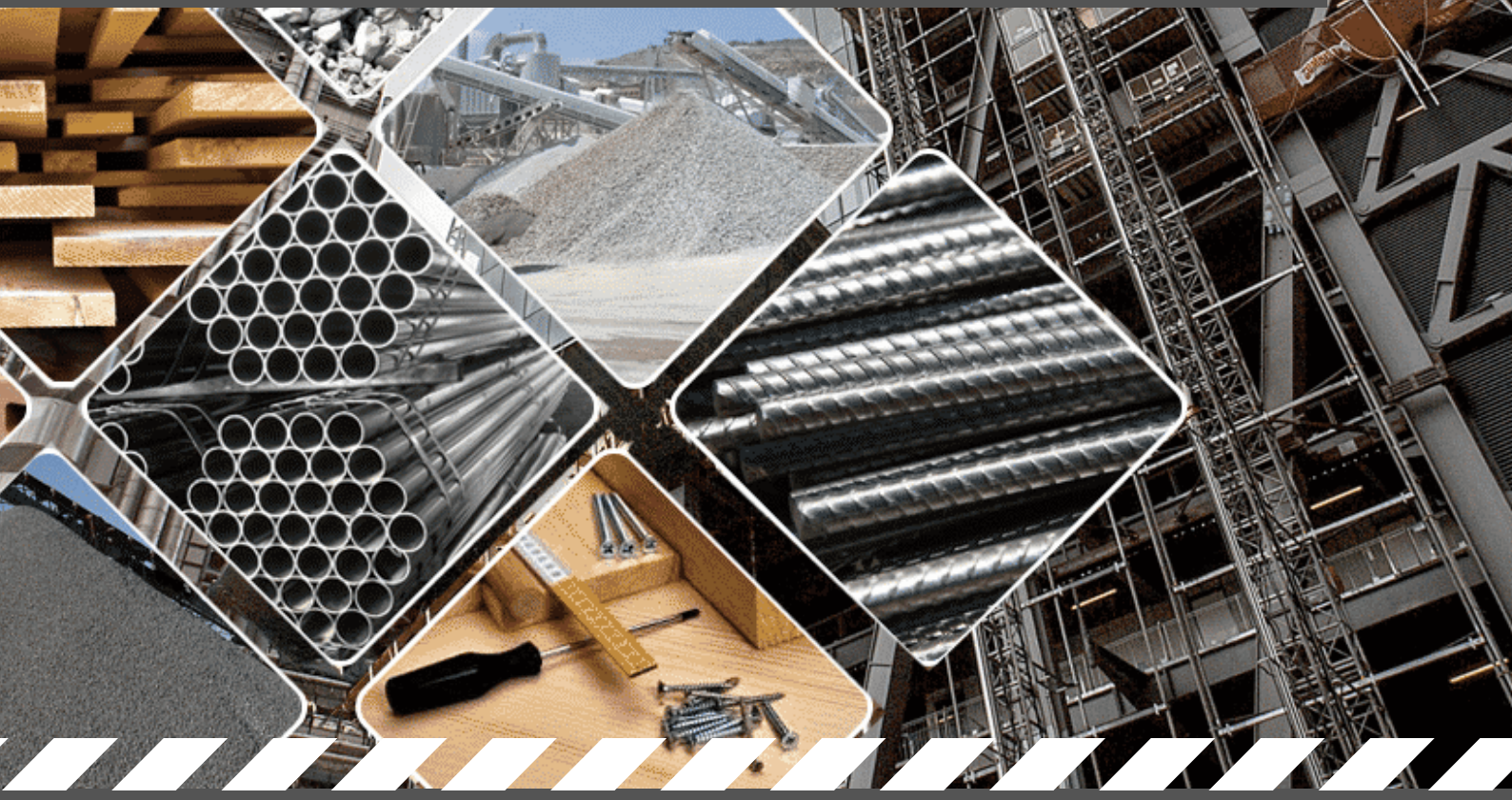
with the paper entitled

THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL IN ARCHITECTURAL DESIGN

www.euroasiacongress.org

Dr. Ethem İlhan ŞAHİN
Congress Committee Member

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES



PROCEEDINGS BOOK

EDITORS:

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

15 December 2024

Adana

ISBN: 978-625-378-070-8

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES

15 December 2024, Adana

PROCEEDINGS BOOK

Edited by

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

All rights of this book belong to IKSAD GLOBAL.

Without permission can't be duplicate or copied. Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.

IKSAD Publications – 2024 ©

Issued: 19.12.2024

ISBN: 978-625-378-070-8

PROCEEDINGS BOOK

CONGRESS ID

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES

DATE-PLACE

15 December 2024, Adana

EDITORS

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

TOTAL NUMBER OF PAPERS: 28

THE NUMBER OF PAPERS FROM TÜRKİYE: 12

OTHER COUNTRIES: 16

PARTICIPANT COUNTRIES (9):

Türkiye, Morocco, Russia, Nigeria, Romania, India, Bangladesh, Algeria, Palestine

CONGRESS ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Turabdjanov Sadritdin MAKHAMEDDINOVICH - Tashkent State Technical University
Prof. Dr. Bahaddin SİNSOYSAL - İstanbul Gedik University
Doç. Dr. İsmail TOPCU - Alanya Alaaddin Keykubat University
Doç. Dr. Tavaldieva Gulbaxar Nishanovna - Tashkent Institute of Chemistry and Technology
Doç. Dr. Kenese JUSIPOV - Kazakh Communication Academy
Dr. Hayri YILDIRIM - Dicle University
Dr. Tien Dung Nguyen - Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry, Thainguyen
Dr. Elvan CAFAROV- Azerbaijan State Pedagogical University
Dr. Nurlan Akhmetov - Ahmet Yassawi University, Kazakhstan
Dr. Ethem İlhan ŞAHİN -Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University

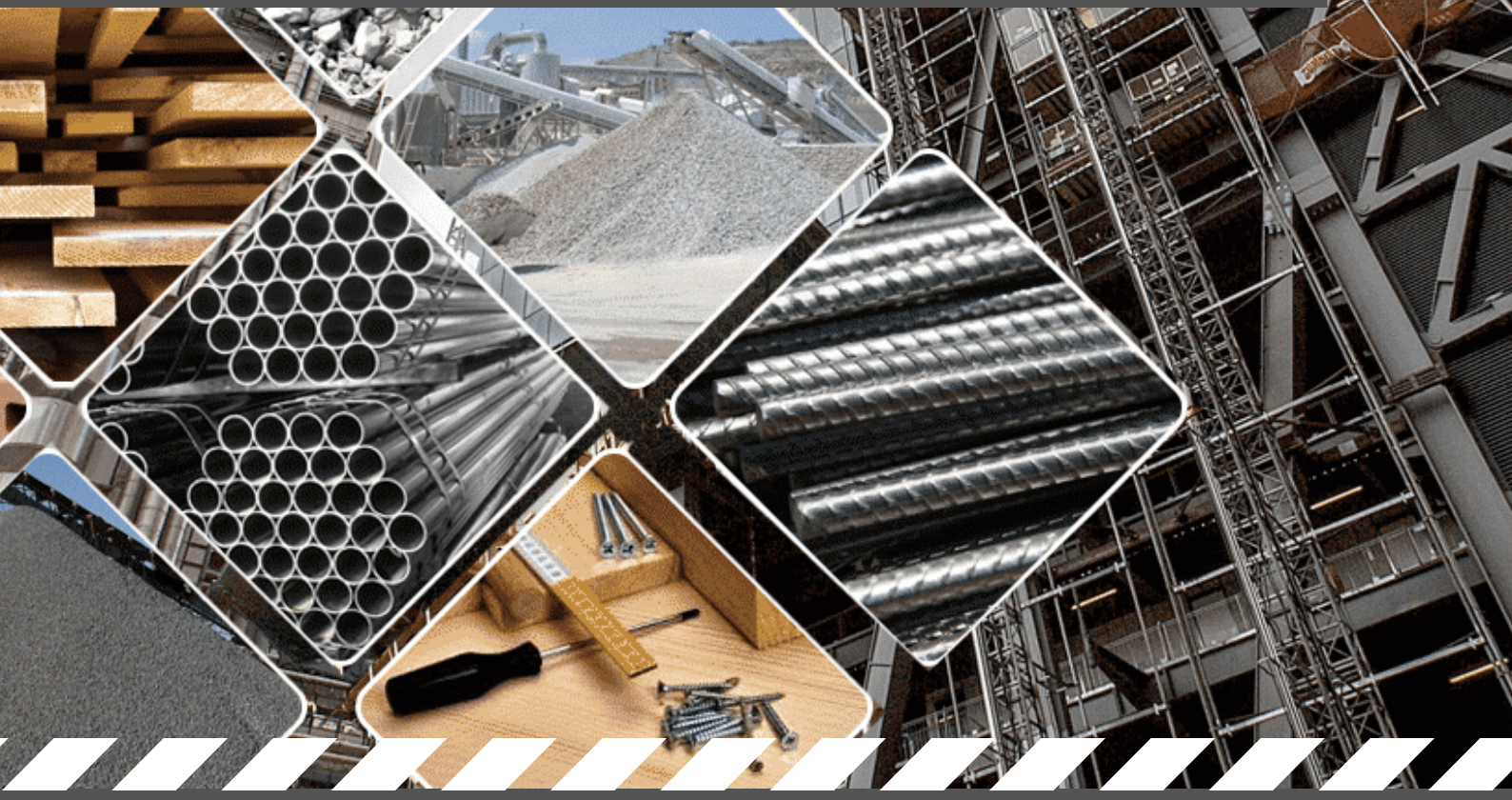
COORDINATOR

Dr. Alina AMANZHOLOVA

CONGRESS SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Eti Akyüz Levi - Dokuz Eylul University
Prof. Dr. Mutalov Shukhrat KHMADJONOVICH - Tashkent Institute of Chemistry and Technology
Prof. Dr. Gappar RAKHMANBERDIEV - Tashkent Institute of Chemistry and Technology
Prof. Dr. Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Prof. Dr. Manojkumar Arthikala - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico
Assoc. Prof. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ - Gebze Technical University
Assoc. Prof. Dr. Muteber ERBAY - Karadeniz Technical University
Assoc. Prof. Mehriban NOVRUZOVA - Khazar University
Assoc. Prof. Hazar HÜSEYNOV - Khazar University
Assoc. Prof. Sevil KARIMOVA - Khazar University
Dr. Upendra N Rai - National Botanical Research Institute
Dr. Muhammad Faisal - Sindh Madressatul Islam University, Karachi, Pakistan
Assist. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ - Recep Tayyip Erdoğan University
Dr. Hayri YILDIRIM - Dicle University
Dr. Ghanshyam Barman - Uka Tarsadia University, India
Dr. Nurlan Akhmetov - Ahmet Yassawi University, Kazakhstan
Dr. Alper BODUR - Ondokuz Mayıs University

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES



PROCEEDINGS BOOK

EDITORS:

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

15 December 2024

Adana

ISBN: 978-625-378-070-8

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES

15 December 2024, Adana

PROCEEDINGS BOOK

Edited by

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

All rights of this book belong to IKSAD GLOBAL.

Without permission can't be duplicate or copied. Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.

IKSAD Publications – 2024 ©

Issued: 19.12.2024

ISBN: 978-625-378-070-8

PROCEEDINGS BOOK

CONGRESS ID

4. INTERNATIONAL EURASIA CONGRESS OF BUILDING MATERIALS, ARCHITECTURE AND ENGINEERING SCIENCES

DATE-PLACE

15 December 2024, Adana

EDITORS

Dr. Ethem İlhan Şahin

Dr. Jamal Eldin Fadoul Mohammed IBRAHIM

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

TOTAL NUMBER OF PAPERS: 28

THE NUMBER OF PAPERS FROM TÜRKİYE: 12

OTHER COUNTRIES: 16

PARTICIPANT COUNTRIES (9):

Türkiye, Morocco, Russia, Nigeria, Romania, India, Bangladesh, Algeria, Palestine

CONTENT

CONGRESS ID	1
SCIENTIFIC COMMITTEE	2
PHOTO GALLERY	3
PROGRAM	4
CONTENT	5

PROCEEDINGS BOOK

Nilüfer ŞAHİN, Murat ERTAŞ, Serdar ŞAHİN *EFFECT OF EPOXY RESIN REINFORCEMENT ON ELASTICITY MODULUS IN PLA MATERİALS PRODUCED WITH 3D PRINTER*	1
Mehmet Can ÖZTÜRK *THE FUTURE OF CARBON CAPTURE TECHNOLOGIES IN SUSTAINABLE ARCHITECTURE WITH TIMBER STRUCTURES*	3
Abdullah Bekir İPEK, Soner UZUNDURUKAN *ANALYSIS OF SOIL LIQUEFACTION FORMULAS USING OPTIMIZATION ALGORITHMS*	5
Feyzullah BEYTEKİN, Nilüfer TAŞ *REDUCING EARTHQUAKE RISKS IN BURSA INDUSTRIAL ZONES: RESILIENCE AND SUSTAINABILITY STRATEGIES*	7
Soufi SAYLAM *SUSTAINABLE USER COMFORT AND MATERIAL USE IN CONTEMPORARY HOUSING*	8
Alexandrov V.S. *APPLICATION OF A NEW APPROACH TO ASSESSING THE PERFORMANCE OF A COMPLEX TECHNICAL SYSTEM*	10
FILALI Saloua, NASSER Abdelkader, KERKOUR-EL MIAD Abdelhamid, AMAR Najib *ASSESSING THE EFFECT OF BRICK POWDER ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF ECO-FRIENDLY CONCRETE*	11
Mary Ebule Ojigi, Abdulwaheed Dauda, Ijaiya, Mukaila Adebisi *BUILDING A SUCCESSFUL BUSINESS RELATIONSHIP: A SOCIAL CAPITAL SYSTEMATIC REVIEW*	12
Kayahan ERİTEN, Hamza GÜLLÜ *PERFORMANCE EVALUATION OF RHEOLOGICAL MODELS FOR CARBON NANOTUBE-ENHANCED CEMENTITIOUS GROUTS*	23
Doğukan Kadir YEMENİCİ, Kübra Ekiz BARIŞ *THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL IN ARCHITECTURAL DESIGN*	37
Merve AÇIKGENÇ ULAŞ *CONCRETE MIX DESIGN: INNOVATIVE APPROACHES WITH MACHINE LEARNING MODELS*	50

Elif Demirci *APPLICATIONS OF LIGHTWEIGHT POLYMER FACADES FOR SEISMIC RESILIENCE*	57
Merve Demirel, Cemal Karaaslan *EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE AND DURATION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND WATER RESISTANCE OF VOLCANIC ASH-BASED GEOPOLYMER MORTARS*	70
Esra Nur ATİLA, Murat TAŞ *EXAMINATION OF THE COMBINED USE OF STEEL AND GLASS IN THE PRODUCTION OF ARCHITECTURAL SPACE THROUGH EXAMPLES*	77
Umutcan Özcan, Mehmet Batuhan Mercimek, Haydar Gülçimen, Emin Şengün *USING RECYCLED PLASTIC PELLETS AS FINE AGGREGATE IN CEMENT MORTARS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION*	90
Ana-Lucia Blendea, Ioan Gotca, Lacramioara Atudorei *THE IMPORTANCE OF NUTRITION AND EMOTIONAL INTELLIGENCE IN MODULATING NEUROPHYSIOLOGICAL RESPONSES TO PSYCHOLOGICAL TRAUMA: THE ROLE OF BIOLOGICAL MARKERS IN STRESS ADAPTATION AND THE PREVENTION OF NEUROTIC DISORDERS*	91
M. Oudahman, M. Houmad, R. Masrour, A. Rezzouk *INVESTIGATION ON THE ELECTRICAL AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF TSTANAGRAPHENE AND SnC-GRAPHENE*	92
Nadagouda Kalyani, Chathura Balasai, Yalakacharla Narasimha, Devara Guru Venkata Prasad, Dasari Rahul Gandhi, Bommepalli Pradeep Reddy *STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF QUARRY DUST AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE*	93
Abdulakeem Tose Oladipo, Ahmed Kehinde Usman, Yuguda Muhammad *ASSESSEMENT OF THE RADIATION DOSE RATES AT FACULTY OF ENGINEERING, AHMADU BELLO UNIVERSITY, ZARIA*	99
Hrishikesh V, Gunabalan R *DESIGN OF A 48 V 28 Ah BATTERY FOR E-MOTOR VEHICLE*	100
GHAITAOUI Essama Ahmed, NASSOUR Kamel, NEMMICH Said, OULAD NAOUI Brahim El Khalil, GHAITAOUI Touhami, BOUROUMEID Yassine, TILMATINE Amar *IMPACT OF OXYGEN FLOW CONFIGURATION ON OZONE GENERATION EFFICIENCY AND ENERGY CONSUMPTION IN DBD OZONE GENERATORS*	101
Subhashish Dey *RESPONSE OF HIGH RISE BUILDING AGAINST EARTHQUAKE FORCE AND WIND FORCE UNDER DIFFERENT SOIL CONDITIONS*	102
Amos Iloabuchi UGWUOTI *ASSESSMENT OF POTABLE WATER DEMAND AND SUPPLY IN CITIES OF WEST AFRICA, CASE OF ENUGU, SOUTH EASTERN, NIGERIA*	103
Chayaraju BalaSai, Nadagouda Kalyani, K.Tharani, Pallem Lokeswara reddy4 *ANALYSIS OF ADMIXTURES FOR CONCRETE*	104

Zatir Sara, Rahal Nacer, Beghdad Houda, Souici Abdelaziz, Aouad Halima ***SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT IN MASCARA (ALGERIA) CHALLENGE AND PERSPECTIVES***	**105**
Faria Binte Hafiz ***RISING BEYOND CHALLENGES: SUSTAINABLE URBAN SOLUTIONS FOR VULNERABLE COMMUNITIES IN PAHARTALI, CHATTOGRAM***	**106**
Oday Jaradat, Nael Salman ***IMPROVING SUSTAINABLE SAND CONCRETE PERFORMANCE: UTILIZING RECYCLED QUARRY WASTE AS CRUSHED LIMESTONE SAND***	**107**
Zineb Moujoud, Omar Tanane ***THERMAL INSULATION PROPERTIES OF GEOPOLYMER FOAM FOR SUSTAINABLE BUILDING APPLICATIONS***	**108**

MİMARİ TASARIMDA FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KULLANIMI

THE USE OF PHASE CHANGE MATERIAL IN ARCHITECTURAL DESIGN

Mimar Doğukan Kadir YEMENİCİ

Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmit, Kocaeli.

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-9399-8871

Dr. Öğr. Üyesi Kübra Ekiz BARIŞ

Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmit, Kocaeli.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3830-7185

ÖZET

Dünya genelindeki enerji tüketiminin %30-40'lık kısmını inşaat sektörü oluşturmaktadır ve bu tüketimin %80-85'i binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarında tüketilmektedir. Küresel sıcaklık artışları, kentleşme oranlarındaki yükseliş ve buna paralel olarak enerji talebinin 2050 yılına kadar %50'den fazla artacağı öngörüsü, inşaat sektörünü sürdürülebilirlik açısından kritik bir alan haline getirmektedir. Bu doğrultuda, enerji tüketimini azaltmaya yönelik yaklaşımlar, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerinin temelini oluşturmaktadır. Enerji verimliliği sağlama ve tüketimi optimize etme amacıyla geliştirilen yöntemlerden biri, "ısıl enerji depolama sistemlerinin kullanımı"dır. Isıl enerji depolama sistemleri, enerjinin verimli bir şekilde toplanması ve dönüştürülmesiyle ısıtma ve soğutmada tasarruf sağlamada etkili bir yöntemdir. Faz değiştiren malzemeler (FDM), ısıl enerji depolama sistemlerinde gizli ısıyı depolama kabiliyetiyle dikkat çeken yenilikçi malzemelerdir. FDM, hem iç mekân termal konforunu artırmakta hem de enerji talebini düşürerek çevresel etkileri azaltmaktadır. Bununla birlikte, FDM'lerin sağladığı en önemli avantaj, enerji depolama süreçlerini verimli hale getirmesi ve karbon ayak izini azaltmasıdır. FDM'lerin enerji verimliliği açısından taşıdığı potansiyel, mimarlık ve yapı malzemeleri alanında giderek artan bir ilgi görmektedir. Özellikle, sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu hedeflerine olan katkıları, FDM'lerin tasarım süreçlerinde kullanılmasını önemli hale getirmektedir. Ancak, mevcut literatür incelendiğinde, FDM uygulamalarının sağlamış olduğu enerji tasarrufu ve ekonomik avantajların çok sayıda araştırmanın odağı olmasına rağmen, FDM'lerin bir mimari tasarım öğesi olarak değerlendirilmesine yönelik araştırmaların oldukça sınırlı bir kapsamda ele alındığı tespit edilmiştir. Özellikle, bu malzemelerin pratik uygulamalarda üretim ve kullanım olanaklarını araştıran girişimlerin olmaması dikkate değerdir. Bu bağlamda, bu araştırmada sınırlı literatür genişletilerek, FDM'lerin mimari tasarımdaki potansiyel kullanım alanları daha kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. FDM'lerin mimarlıkta pratik uygulamaları ve karşılaştırmalı malzeme özellikleri incelenmiş, ayrıca gelecekte mimarlıkta yaygın bir şekilde kullanılma potansiyeli üzerine çıkarımlar yapılmıştır. Bu araştırmanın, FDM'lerin mimari tasarımlarda kullanımı için teorik ve pratik katkılar sunması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, FDM'lerin mimari tasarımlarda kullanımının yaygınlaşması, sürdürülebilir yapıların inşasına önemli bir katkı sağlayarak, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Malzeme, Yenilikçi Malzeme, Mimari Tasarım

ABSTRACT

The construction sector accounts for 30-40% of global energy consumption, with 80-85% of this consumption used for heating and cooling buildings. Global temperature increases, rising urbanization rates, and the projected increase in energy demand by over 50% by 2050 make the construction sector a critical area for sustainability efforts. Approaches to reducing energy consumption form the foundation of both environmental and economic sustainability goals. One method developed to achieve energy efficiency and optimize consumption is the use of thermal energy storage systems. These systems

effectively store and transform energy, providing savings in heating and cooling. Phase change materials (PCM) stand out as innovative materials in thermal energy storage systems due to their ability to store latent heat. PCM enhance indoor thermal comfort while reducing energy demand, thus mitigating environmental impacts. The most significant advantage of PCM lies in their ability to make energy storage processes more efficient and reduce carbon footprints. Their potential for improving energy efficiency is attracting increasing attention in architecture and building materials. Specifically, their contributions to sustainability and energy savings goals make the integration of PCM into design processes particularly important. However, a review of the existing literature reveals that, despite numerous studies focusing on the energy-saving and economic benefits of PCM applications, research addressing their evaluation as an architectural design element remains relatively limited. Notably, there is a lack of initiatives exploring the production and application possibilities of these materials in practical contexts. Within this scope, this research aims to expand the limited body of literature by examining the potential uses of PCM in architectural design more comprehensively. The study investigates the practical applications and comparative material properties of PCM, along with drawing conclusions about their potential for widespread use in future architectural projects. This research aims to provide both theoretical and practical contributions to the use of PCM in architectural designs. In this context, the widespread use of PCM in architectural design is expected to significantly contribute to the construction of sustainable buildings, playing a critical role in achieving energy efficiency and environmental sustainability goals.

Keywords: Phase Change Material, Innovative Material, Architectural Design

GİRİŞ

İnşaat sektörü, dünya genelinde yaşanan enerji tüketiminin %30-40'ından sorumlu olup (Yılmazoğlu, 2010) bu oran içinde ısıtma ve soğutmada harcanan enerji tüketimi %80-85 gibi önemli bir paya sahiptir (Konuklu ve Paksoy, 2011). Artan küresel sıcaklıklar, kentleşme oranlarındaki yükseliş ve buna bağlı olarak enerjiye olan talebin 2050 yılına kadar %50'nin üzerine çıkacağı öngörülmektedir (Alam ve diğ., 2019). 21. yüzyıl, enerji tüketimi ve kaynak yönetimi açısından kritik öneme sahip olmakla birlikte, iklim değişikliği, artan sera gazı emisyonları ve kaynakların etkin kullanımı gibi küresel ölçekli zorluklarla da karşı karşıyadır (Fereidoni ve diğ., 2023). Bu bağlamda, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik stratejiler hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerinin merkezinde yer almaktadır.

Enerji verimliliği sağlama ve tüketimi optimize etme amacıyla geliştirilen yöntemlerden biri, pasif sistemler olarak adlandırılan iklimlendirme yaklaşımlarıdır. Buna ek olarak, yenilikçi malzemeler ve enerji depolama teknikleri bu hedefe ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır (Beltran ve Martinez-Gomez, 2019). "Isıl enerji depolama sistemleri", enerjiyi uygun şekilde toplama ve dönüştürme yeteneği ile ısıtma ve soğutma süreçlerinde tasarruf sağlamanın etkili bir yöntemi olarak dikkat çekmektedir. Faz değiştiren malzemeler (FDM), gizli ısı depolama özellikleri sayesinde ısıl enerji depolama sistemlerinde etkili bir çözüm sunan yenilikçi malzemelerdir. Bu malzemeler, iç mekân konfor koşullarını iyileştirirken aynı zamanda enerji talebini düşürerek çevresel etkilerin azalmasına katkı sağlamaktadır (Casini, 2014). FDM'ler, sıvı ve katı fazları arasındaki geçiş sırasında ısı enerjisini depolayarak sıcaklığını sabit tutar. Gündüz artan çevre sıcaklığı ve güneş radyasyonu etkisiyle eriyerek ısıyı bünyesinde depolar ve iç ortam sıcaklığının artışını engeller. Gece ise çevre sıcaklığı düştüğünde depoladığı ısıyı ortama geri salarak katılaşır ve iç mekânda ısıl konforu korur (Mohseni ve diğ., 2019), (Chan, 2011).

FDM'lerin yüksek enerji depolama avantajı, inşaat sektöründen diğer endüstrilere kadar geniş bir alanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir öneme sahiptir. Örneğin, tekstil endüstrisinde, termal konfor sağlayan giysilerde FDM kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca, elektrikli araçların bataryalarında ısı yönetimini optimize etmek için FDM'ler kullanılmakta, böylece batarya performansı ve ömrü artırılmaktadır (Sharma ve diğ., 2009). Gıda sektöründe, sıcaklık kontrolü gerektiren taşımacılık ve depolama süreçlerinde FDM'ler etkili bir çözüm sunmaktadır (Baetens ve diğ., 2010). Sağlık sektöründe ise, ilaç taşımacılığı ve sıcaklık kontrollü saklama alanlarında kullanım

örnekleri bulunmaktadır. Bu uygulamalar, FDM'lerin geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu ve enerji verimliliğine yönelik önemli katkılar sunduğunu göstermektedir.

FDM'lerin farklı endüstrilerdeki uygulamaları, bu malzemelerin mimarlık ve yapı malzemeleri alanında da sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği sağlama potansiyeliyle artan bir ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır. Ancak, mevcut literatür incelendiğinde, FDM uygulamalarının sağlamış olduğu enerji tasarrufu ve ekonomik avantajların çok sayıda araştırmanın odağı olmasına rağmen, FDM'lerin mimari tasarım süreçlerindeki entegrasyonunu ve pratik uygulamalarını ele alan araştırmaların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, bu araştırmanın temel amacı, FDM'lerin mimarlık ve yapı malzemeleri alanındaki potansiyel kullanım alanlarını kapsamlı bir şekilde incelemektir. Özellikle, FDM'lerin sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu hedeflerine sağladığı katkılar doğrultusunda, bu malzemelerin bir mimari tasarım öğesi olarak değerlendirilmesine yönelik teorik ve pratik bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

YÖNTEM

Bu araştırmada, FDM'lerin mimari tasarımdaki uygulama potansiyellerini ve kullanım avantajlarını analiz etmek için kapsamlı bir yöntem izlenmiştir. Öncelikle, literatür taraması ile FDM'lerin termal özellikleri, enerji verimliliği üzerindeki etkileri ve mevcut uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca, örnek çalışmalar üzerinden FDM'lerin farklı mimari bağlamlarda nasıl kullanılabileceği değerlendirilmiş ve bu malzemelerin pratik uygulamalardaki başarıları incelenmiştir.

Yapılan incelemelere istinaden, FDM'lerin gelecekteki potansiyel kullanım alanları üzerine derinlemesine bir inceleme yapılmıştır. FDM'lerin mimari tasarımlarda daha geniş bir şekilde entegrasyonunun sağlanması için gerekli stratejiler tartışılmış ve bu malzemelerin sürdürülebilir yapı projelerinde nasıl önemli bir yer tutabileceği ele alınmıştır. Gelecekteki uygulamaları doğrultusunda, FDM'lerin çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği hedeflerine katkı sağlama potansiyeli vurgulanmış ve bu malzemelerin geniş ölçekte uygulanabilirliğine dair önerilerde bulunulmuştur.

BULGULAR

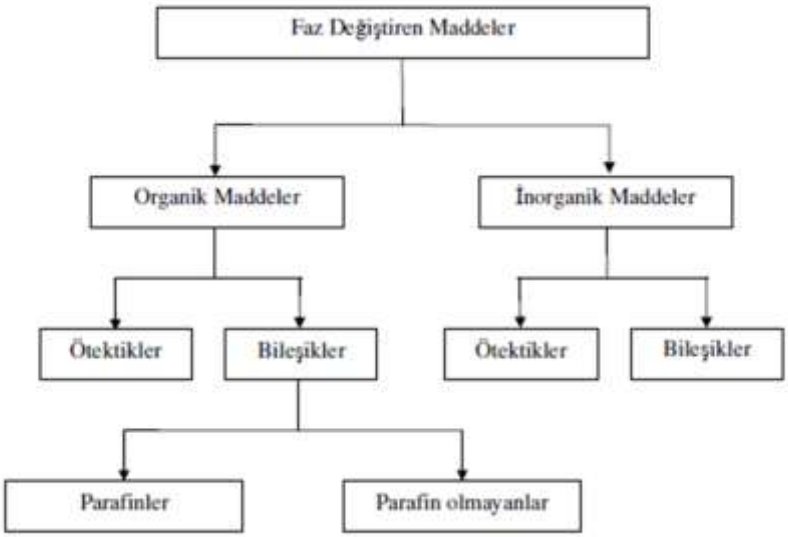
FDM Tanımı

FDM'ler, ısıl enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan malzemelerdir. Gizli ısı, bir maddenin faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısı olarak tanımlanabilir. FDM'ler, faz geçişleri sırasında sabit sıcaklıkta gerçekleşen ısıl depolama süreçleri sunarak, ısı enerjisinin etkin bir şekilde depolanmasını ve geri kazanılmasını sağlarlar. Bu özellikleri sayesinde, ısınma ve soğutma uygulamalarında enerji verimliliğini artırmak amacıyla kullanılmakta olup, enerji tasarrufu sağlayan çözümler geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Konuklu ve Paksoy, 2011).

FDM'lerin Sınıflandırılması

Isı enerjisi depolaması için kulanılan FDM'ler organik, inorganik ve ötektik olarak sınıflandırılmaktadır (Mazman, 2006). Şekil 1'de FDM çeşitleri sınıflandırılmıştır.

Şekil 1. Faz Değiştiren Malzemelerin Sınıflandırılması (Basal, 2007)



Organik FDM'ler, uzun vadeli ısıl kararlılığa sahip olup, katı fazda kristalleşme eğilimi gösterirler. Bu malzemeler, parafin ve parafin içermeyen organik bileşikler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Parafin içermeyen türler arasında yağ asitleri ve polietilen glikol (PEG) gibi bileşikler yer almaktadır. Parafinlerin kimyasal formülü genellikle C_nH_{2n+2} şeklinde olan düz zincirli hidrokarbonlar olup, karbon zincirinin uzunluğu arttıkça erime sıcaklıkları ve entalpi değerleri de yükselmektedir (Mert ve diğ., 2018).

İnorganik FDM'ler, dört ana gruba ayrılmaktadır: tuzlar, tuz hidratları, metaller ve alaşımlar. Tuz hidratları, 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 (Mert ve diğ., 2018). Farklı FDM türlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 1' de gösterilmektedir.

Tablo 1. Organik, İnorganik ve Ötektik FDM'lerin Avantaj ve Dezavantajları (Koşan, 2018)

FDM Türü	Avantajlar	Dezavantajlar
Organik	• İyi ısıl kararlılık • Aşırı soğuma olmadan donma • Düşük buhar basıncı • Özgün çekirdekleşme özelliği • Uyumlu eriyebilme • Düşük hacim değişikliği • Geleneksel yapı malzemeleri ile uyumluluk • Geniş çalışma sıcaklığı	• Sıvı FDM'nin sızması • Düşük termal iletkenlik • Yanıcılık
İnorganik	• Yüksek hacimli gizli depolama kapasitesi • Yangına karşı dayanımlı • Düzgün faz değişimi • Yüksek termal ısıl iletkenlik	• Aşırı soğumaya eğilimli • Ayrışma • Uyumlu eriyememe • Yüksek hacim değişiklikleri • Metal ile korozif olma • Tekrarlanan fazlarda faz ayrılma
Ötektik	• Keskin, net erime noktaları • Özellikler isteğe bağlı değişebilir	• Yüksek maliyetli • Termofiziksel özellikleri sınırlı

FDM'lerin Yapı Malzemelerine Entegrasyonu

FDM'ler yapı malzemelerine, doğrudan birleştirme, daldırma ve kapsülleme yöntemleriyle entegre edilmektedir. Doğrudan birleştirme yönteminde, sıvı veya toz haldeki FDM, yapı malzemesiyle karıştırılmaktadır. Bu yöntem, düşük ekipman gereksinimi nedeniyle ekonomik olmasına rağmen homojen bir karışım sağlanamayabilir ve erimiş haldeki FDM malzemeden dışarı sızabilir. Daldırma yönteminde ergimiş FDM, yapı malzemesinin gözeneklerine nüfuz etmesi için malzemenin içine daldırılır; sonrasında malzeme soğutularak gözenekler FDM ile dolar. Bu yöntem, her tür yapı malzemesine kolayca uygulanabilir ve önemli bir avantaj sunar. Kapsülleme yöntemi ise, FDM'nin olumsuz etkilerden korunmasını sağlamak amacıyla tercih edilir. Bu yöntem, FDM'nin mikrokapsülleme veya makrokapsülleme yöntemleriyle yapı malzemesine entegre edilmesini sağlar. Mikrokapsüllemede FDM parçacıkları, yapı malzemesiyle uyumlu polimerik filmlerle kaplanırken, makrokapsülleme yönteminde FDM, tüp, torba veya panel gibi kapsüllere yerleştirilir (Şekil 2) (Tokuç, 2013).

Şekil 2. Kapsülleme Örnekleri (soldan sağa): Mikroenkapsülasyon (PureTemp LLC), ve Makroenkapsülasyon Toplar (Global-E-Systems), Torbalar (Rubitherm Technologies GmbH)



Mimari Tasarımda FDM Uygulamaları

FDM, genellikle mikroenkapsüle FDM halinde geleneksel yapı malzemelerine uygulanmaktadır. Bu malzemelerin uzun ömürlü olması nedeniyle, mikroenkapsüle FDM'nin stabilitesi ve yapı malzemesiyle uyumu önemlidir. İlk Ar-Ge çalışmaları 1980'lere dayanmakta olup, 2000'li yıllarda yeniden hız kazanmıştır. Bu dönemde BASF, Micronal adı altında mikroenkapsüle FDM'yi piyasaya sürmüş, alçıpan ve sıvaya FDM entegrasyonunu sağlamıştır. Daha sonra, beton ve kili entegre etme çalışmalarına başlanmıştır. Ticari olarak piyasada bulunan başlıca ürünler, Knauf'un Comfortboard alçıpanı ve Lehmorange'ın kil esaslı panolarıdır. Bu ürünler, 10 yıldan uzun bir süredir çeşitli binalarda kullanılmaktadır (Harald ve diğ., 2022).

Nottingham Üniversitesi'ndeki Mark Group Eco House projesi (Şekil 3), BASF'nin mikroenkapsüle FDM içeren Comfortboard alçıpanın (Şekil 4) enerji verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendiren önemli bir örnektir. Micronal, Knauf tarafından üretilen Comfortboard alçıpanında kullanılmış olup, enerji verimli konut teknolojilerinin performansını değerlendirmek için tasarlanmış bir projede yer almaktadır. Evde, güneş alan bölgede, standart alçıpan ve Micronal FDM içeren Comfortboard olmak üzere iki farklı alçıpan kullanılmıştır. FDM'ler, gizli ısı prensibiyle çalışarak ortam sıcaklığını dengelemektedir. Sıcaklık yükseldiğinde, FDM ısıyı emer; sıcaklık düştüğünde ise bu ısıyı geri verir. Bu özellik, Comfortboard'un iç mekanlarda sıcaklık dalgalanmalarını azaltmasını sağlamaktadır. Nottingham Üniversitesi, standart alçıpan ve Comfortboard arasında yüzey ısı akışını sürekli izleyerek bilimsel bir karşılaştırma yürütmektedir (BASF, 2013). Proje, Micronal'in konut uygulamalarındaki performansını gerçek yaşam koşullarında değerlendirmek için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu doğrultuda, proje, FDM'lerin konut tasarımında kullanımını teşvik eden teorik ve pratik bilgiler sağlamaktadır.

Şekil 3. Mark Group Eco House Projesi



Şekil 4. BASF Micronal FDM (BASF, 2013)



2009 yılında, Charles Sturt Üniversitesi'nin Albury'deki Thurgoona Kampüsü (Şekil 5), beton zeminlerinde FDM'lerin kullanıldığı dünyadaki ilk proje olarak tanımlanmıştır. Bu yenilikçi uygulama, FDM'lerin alçıpan tavanlara da entegre edilmesiyle desteklenmiştir. Bu özellikler, kampüsün Avustralya Yeşil Bina Konseyi tarafından "altı yeşil yıldız derecesi" ve "dünya lideri" statüsü ile ödüllendirilmesini sağlamıştır (McLaren, 2015).

Şekil 5. Charles Sturt Üniversitesi'nin Albury'deki Thurgoona Kampüsünde FDM Entegre Edilmiş Yapı Kabuğu (McLaren, 2015)



Diğer bir kimya devi DuPont, Energain (Şekil 6) adlı ürününü tanıtarak bu alanda yerini almıştır. Energain, %60 parafin esaslı FDM ve %40 etilen kopolimeri karışımından ürettiği malzemeyi 100 µm kalınlığında iki alüminyum levha arasında sıkıştırarak yaklaşık 5 mm kalınlığında bir panel haline getirmiştir. Bu paneller, alçıpanın arkasına yerleştirilen bölme duvarları ve tavanlarda kullanıma uygundur. DuPont, klima bulunan binalarda Energain panellerinin, maliyetleri ortalama %35 oranında azaltabileceğini ve kışın ısınma faturalarını %15'e kadar düşürebileceğini savunmaktadır. Ayrıca, yapılan malzeme analizlerine göre, geleneksel betonun %17 oranında enerji depolama kapasitesine sahip olduğu beton hacmiyle aynı hacimdeki FDM esaslı bu paneller, çok daha yüksek ısı depolama kapasiteleriyle hafif strüktürlerin termal kütle eksikliğini gidermektedir (DuPont), (McLaren, 2015).

Şekil 6. DuPont, Energain Ürünü Tavan Uygulaması (McLaren, 2015)



Phase Change Energy Solutions firması, BASF Micronal ve DuPont Energain'den farklı olarak, parafin veya sert paneller kullanmadan BioPCM (Şekil 7a) üretmektedir. Bu malzeme, soya, palmiye ve hindistancevizi yağı üretiminden elde edilen atık maddelerle hazırlanır ve nano ölçekli silika parçacıkları içeren bir kalınlaştırıcı ile karıştırılır. Sonuç olarak, esnek plastik filmler içinde saklanan bir jel elde edilir. BioPCM, yeni yapılara kolayca entegre edilebileceği gibi, mevcut yapılarda da daha sonra uygulanma olanağına sahiptir. Victoria'daki "9 Yıldızlı NatHERS Dereceli" bir konut projesinde (Şekil 7b), BioPCM kullanılarak enerji verimliliği sağlanmıştır. Projede, ısının ikinci kata yükselmesi

nedeniyle sıcaklık kontrolü sağlanamayan durumlar için BioPCM, termal kütle etkisi yaratacak şekilde duvar bileşenlerine entegre edilmiştir. Bu malzeme ısının yükselmesiyle eriyerek ekstra ısıyı emmektedir, böylelikle odanın sıcaklığının 24°C'den daha fazla yükselmesini engellemektedir (McLaren, 2015).

Şekil 7. (a) Phase Change Energy Solutions, BioPCM; (b) Victoria'daki 9 Yıldızlı NatHERS Dereceli bir Konut Projesi (McLaren, 2015)

(a) 

(b) 

İsviçreli GlassX firmasının Crystal ürünü (Şekil 8), FDM'lerin daha ilginç bir kullanımını sunmaktadır. Crystal, dört katmanlı bir cam pencere sistemidir ve iki cam arasına yerleştirilen saydam bir tuz-hidrat FDM içermektedir. Bu cam panel, beton kadar enerji depolama kapasitesine sahip olup, FDM'in katı fazda görünür ışığın %28'ini, sıvı fazda ise %45'ini iletebilmektedir. Bu özellik, yüksek termal kütleye sahip yapı kabuğunun aynı zamanda güneş ışığını geçirmesine olanak tanımaktadır (GlassX AG). GlassX'in Crystal ürünü, FDM'lerin yenilikçi bir kullanımını sunarak, binalarda enerji verimliliğini artırırken aynı zamanda doğal ışık geçişini optimize eder.

Şekil 8. GlassX, Crystal Ürünü Uygulaması (GlassX AG)



Tate Access Floors firması, zeminlerde FDM kullanımıyla farklı bir yaklaşım benimsemektedir. EcoCore panelleri (Şekil 9), yükseltilmiş döşeme sistemlerinde kullanılarak ofislerin kablolama ve klima gibi altyapı sistemlerinin döşeme altına gizlenmesini sağlamaktadır. Bu paneller, binanın bol güneş ışığına maruz kaldığı yönlerde döşeme kaplama malzemesi olarak kullanıldığında, içerdiği FDM'ler ısıyı emer ve ofise giren sıcaklığı kontrol eder. Tate tarafından yapılan testler, bu sistemin tipik beton zeminlere kıyasla klima talebini %17,7 oranında azaltabileceğini göstermektedir (McLaren, 2015).

Şekil 9. EcoCore Panelleri Uygulaması (McLaren, 2015)



Bir başka uygulama örneği olan "Smart is Green" konut projesi (Şekil 10a), Hamburg'daki Uluslararası Yapı Sergisi (IBA) kapsamında yer almış ve birinci ödül kazanarak uygulamaya geçirilmiştir. Bu projede, 1000 m^2'yi geçmeyen alanda bağımsız bir konut inşa edilmiştir. Tasarımda, çevresel ve sosyal değişimlere uyum sağlamak amacıyla FDM perdeleri (Şekil 10b) kullanılmıştır. Bu perdeler, güneşten alınan ısının depolanmasını ve gece serbest bırakılmasını sağlayarak, iç mekân sıcaklığını dengelemektedir. FDM malzemesi, fazla ısının merkezi bir enerji depolama sistemi olarak kullanılmaktadır. Ev, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı merkeziyetsiz tedarik stratejileriyle, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik sağlamaktadır (Zillerplus).

Şekil 10. (a) "Smart is Green" Konut Projesi; (b) Projede Uygulanan FDM Perdeleri (Zillerplus)

(a)  (b) 

FDM Standartları

FDM'lerin Performans Değerlendirmesi İçin Standartlar

FDM'lerin en temel özelliklerinden biri olan ısı depolama kapasitesinin sıcaklıkla olan ilişkisi, kalorimetrik yöntemler kullanılarak ölçülmektedir. Bu amaçla, farklı ölçüm yöntemlerini kapsayan çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetreler (DSC) için bir ölçüm standardı, IEA Güneş Isıtma ve Soğutma/Enerji Depolama Yoluyla Enerji Koruma programının "Compact Thermal Energy Storage: Material Development for System Integration" başlıklı Görev 42/Ek 24 çalışması kapsamında geliştirilmiştir (Gschwander ve diğ., 2015).

Isı akış ölçer cihazı (HFM) için ise, ASTM C1784-20 standardı oluşturulmuştur. Bu standart, "Standard Test Method for Using a Heat Flow Meter Apparatus for Measuring Thermal Storage Properties of Phase Change Materials and Products" (ASTM C1784-20, 2020) olarak FDM'lerin ısı depolama kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir.

RAL FDM Kalite ve Test Spesifikasyonları (RAL-GZ 896), FDM'lerle ilgili geniş kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu standart, FDM'lerin yalnızca sıcaklıkla değişen ısı depolama kapasitelerinin belirlenmesini değil, aynı zamanda çevrim stabilitesinin değerlendirilmesini de içermektedir. RAL-GZ

896, kalite yönetiminde hem üretici öz-denetimlerini hem de bağımsız denetçiler tarafından gerçekleştirilen periyodik dış denetimleri içeren sofistike bir izleme sistemine sahiptir. Bu süreçten başarıyla geçen ürünler, "RAL PCM Kalite İşareti" ile ödüllendirilmektedir. İlk olarak 2006 yılında geliştirilen bu kalite spesifikasyonları, düzenli olarak güncellenmekte ve en son teknolojik gelişmelere uyarlanarak güncel haliyle RAL PCM Kalite Derneği'nin web sitesinde yayımlanmaktadır (https://www.pcm-ral.org/pcm/en/pcm/certified-products/).

Soğuk zincir sektörünün ticari önemi, taşınan malzemelerin miktarı ve yüksek değeri göz önüne alındığında, bu sektörün kendi test standartlarına sahip olması beklenen bir durumdur. Bu alandaki bilinen standartlardan biri, Uluslararası Güvenli Taşıma Derneği (ISTA) (https://ista.org/) tarafından geliştirilen STD-7E standardıdır. Bu standart, "Testing Standard for Thermal Transport Packaging Used in Parcel Delivery System Shipment" olarak, soğuk zincir taşımacılığında kullanılan ambalajların performansını değerlendirmek için uygulanmaktadır (USAID).

FDM'lerin Uygulamaları İçin Standartlar

FDM uygulamaları için en eski standart, 1993 yılından itibaren ilk baskısı yapılan ASHRAE Soğuk Termal Depolama Tasarım Kılavuzu olarak bilinmektedir (ASHRAE, 2019). Bu kılavuz, soğuk termal enerji depolama sistemlerinin tasarımı, modellemesi, maliyeti ve devreye alınması konusunda kapsamlı bilgiler sunmaktadır.

Daha güncel bir tasarım kılavuzu ise, VDI 2164 "PCM energy storage systems in building services" (VDI 2164, 2016) kılavuzudur. Bu kılavuz, FDM'nin teknik bina ekipmanlarında uygulanmasının temellerini belirlemektedir. Ayrıca, pasif yüzey ısıtma ve soğutma sistemleri (örneğin bina malzemeleri ve bileşenleri), aktif yüzey ısıtma ve soğutma sistemleri (soğutma tavanları vb.), soğutma için dağıtılmış taze hava sistemleri ve ısıtma ve soğutma için merkezi taze hava sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarını ele almaktadır.

Hollanda'da ise benzer bir kılavuz bulunmakta olup, bu kılavuz, Hollanda ISSO Yayını 111 "Phase Change Materials (PCM)" olarak bilinmektedir. Ancak, şu anda yalnızca Flemenkçe olarak mevcut olduğundan, bu kılavuz hakkında detaylı bilgi bulunmamaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Araştırmanın bulgularından çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- FDM'lerin ilk Ar-Ge çalışmaları 1980'lerden itibaren başlamıştır. Bu malzemeler mimari tasarımda şu şekillerde kullanılmıştır:

1. Duvarlar: FDM'lerin ısı depolama özellikleri sayesinde duvarlar, gün içerisinde fazla ısıyı bünyesinde depolamakta ve geceleri bünyesinde depoladığı bu ısıyı salarak iç mekânda ısıl konfor koşullarının sürdürülmesini sağlamaktadır.

2. Döşemeler: FDM'ler, döşemelerde, özellikle sıcaklık değişimlerinin fazla olduğu yerlerde kullanılarak ısının dengelemesine ve enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olur.

3. Çatılar: Çatı sistemlerinde FDM'ler, ısının yapıda daha verimli bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olmak için kullanılır.

4. Pencereler ve Cam Sistemleri: FDM'ler, pencerelerde ve cam sistemlerinde, güneş ışığını içeriye yönlendirerek veya fazla ısının dışarıya çıkmasını engelleyerek iç mekânın sıcaklık dengesini iyileştirmek için kullanılır.

5. Cephe Sistemleri: FDM'ler, binaların dış cephelerinde, dış ortamla olan ısıl etkileşimini düzenleyerek binaların enerji tüketimini optimize etmek için kullanılır.

- Mimari tasarımda FDM uygulanan örnekler, FDM kullanımının, hem enerji verimliliğini artıran hem de yeşil bina sertifikasyon süreçlerinde avantaj sağlayan bir çözüm sunabileceğini açıkça göstermektedir. FDM teknolojisi, hafif yapıların ısıl kütle eksikliğini gidererek, enerji verimliliğini sağlayan önemli bir çözüm sunmaktadır. Aynı zamanda FDM'lerin iç tasarımda tekstil ürünü olarak kullanılması, iç mekân ısı yönetiminde yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Bu kullanım, büyük cam cephelerin bulunduğu binalarda sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak termal konforu artırmaktadır. Bu

bağlamda, FDM'lerin geniş bir yelpazede mimari ve mühendislik uygulamalarına entegrasyonu, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.

- FDM'lerin çevre dostu özellikleri ve enerji verimliliğine katkıları nedeniyle daha fazla nihai kullanıcı, bu malzemeleri kullanma konusunda farkındalık kazanmıştır. Ancak, geleneksel yapı malzemelerinin tamamen FDM ile değiştirilmesi kolay değildir. Çünkü geleneksel malzemelerin birçok ulusal ve uluslararası standardı vardır ve dünya çapında yaygın olarak kabul edilmektedir. FDM ürünlerinin yaygın bir şekilde kabul edilen bir ürün haline gelmesi zaman alabilir. Bu doğrultuda FDM'ler için mevcut standartlara ilave olarak uygun standartların oluşturulması konusunda daha çok ilerleme kaydedilmesi gerekmektedir. Uygun bir standardizasyon ile, FDM teknolojisinin inşaat sektöründeki kabulü yaygınlaşacaktır.

- Türkiye'de FDM'lerin pratik uygulamalarda üretim ve kullanım olanakları sınırlıdır. Bu bağlamda, FDM'lerin ticari ölçekli üretimine başlanması gerekmektedir. İnşaat sektöründen diğer endüstrilere kadar tüm paydaşlar, FDM'lerden uygun inşaat uygulamalarını belirlemek için işbirliği yapmalıdır. Binaların inşasında kullanılacak FDM'ler resmi olarak onaylanmalıdır. Teknik belgeler bir araya getirilerek "Mimari Tasarımda FDM Kullanımı" için bir ulusal standart hazırlanması yönünde yoğun çaba sarf edilmelidir.

KAYNAKLAR

Alam, M., Zou, P.X.W., Sanjayan, J., & Ramakrishnan, S. (2019). Energy saving performance assessment and lessons learned from the operation of an active phase change materials system in a multi-storey building in Melbourne. Applied Energy, 238, 1582-1595. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.116

ASHRAE, Design Guide for Cool Thermal Storage, 2nd ed. (2019). https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-design-guide-for-cool-thermal-storage-2nd-ed?product_id=2046532

ASTM C1784-20. (2020). Standard Test Method for Using a Heat Flow Meter Apparatus for Measuring Thermal Storage Properties of Phase Change Materials and Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, https://doi.org/10.1520/C1784-20 (https://www.astm.org/Standards/C1784.htm).

Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010). Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. Energy and Buildings, 42(9), 1361-1368. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.026

Basal, B. (2007). Eş eksenli üç borulu ısı eşanjörlerinde faz değiştiren madde kullanarak ısıl enerji depolanmasının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). K.A.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

BASF. (2013). BASF phase change materials put to the test. Retrieved from Micronal® in the Mark House.

Beltran, R.D., & Martínez-Gomez, J. (2019). Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment. Journal of Building Engineering, 24, 100726. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.018

Casini, M. (2014). Smart Materials and Nanotechnology for Energy Retrofit of Historic Buildings, Journal of Advances in Civil, Structural and Construction Engineering, Csce, 1, 3, 88-97.

Chan, A. L. S. (2011). Energy and environmental performance of building façades integrated with phase change material in subtropical Hong Kong. Energy and Buildings, 43(10), 2947–2955. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.021

DuPont, Home | DuPont website. https://www.dupont.com/

Fereidoni, S., Nabisi, M., Fereidooni, L., Javidmehr, M., Zirak, N., & Kasaeian, A. (2023). An assessment of the impact of building envelope design on the tradeoff between embodied and operating energy. Energy Building, 298. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113542)

GlassX AG, GLASSX®crystal - Das Glas, das speichert, warmt und kühlt. https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://glassx.jimdo.com/app/download/10112900052/Broschuere_klein_online.pdf?t=1503651139

Gschwander, S., Haussmann, T., Hagelstein, G., Sole, A., Cabeza, L.F., Diarce, G., Hohenauer, W., Lager, D., Ristic, A., Rathgeber, C., Hennemann, P., Mehling, H., Penalosa, C., & Lazaro, A. (2015). Standardization of PCM Characterization Via DSC, in: Proc. of the 13th International Conference on Energy Storage GREENSTOCK, Bejing.

Harald, M., Michael, B., & Thomas, H. (2022). PCM products and their fields of application - An overview of the state in 2020/2021. Journal of Energy Storage, 51. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104354

Konuklu, Y., & Paksoy, H. (2011). Faz Değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği, 10. UlusalTesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.

Koşan, M., & Aktaş, M. (2018). Faz Değiştiren Malzemelerle Termal Enerji Depolayan Bir Isı Değiştiricisinin Sayısal Analizi. Politeknik Dergisi, 2018;21(2):403-409. https://doi.org/10.2339/politeknik.389594

Mazman, M. (2006). Gizli ısı depolaması ve uygulamaları. (Doktora Tezi). Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

McLaren, W. (2015). The state of Phase Change Materials in Australian building design. Architecture & Design. https://www.architectureanddesign.com.au/features/features-articles/the-state-of-phase-change-materials-in-australian

Mert, M. S., Sert, M., & Mert, H. H. (2018). Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(1), 161-174. https://doi.org/10.21923/jesd.331998

Mohseni, E., Tang, W., & Wang, S. (2019). Investigation of the role of nano-titanium on corrosion and thermal performance of structural concrete with macro-encapsulated PCM. Molecules, 24(7), 1360. https://doi.org/10.3390/molecules24071360

Pure Temp, Pure Temp webiste. https://www.puretemp.com/stories/success-story-embrace-infant-warmer

Rubitherm GmbH, Rubitherm GmbH website. https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/phasecube,%202021

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(2), 318-345. https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005

Tokuç, A. (2013). Faz değişim malzemelerinin ısıl enerji depolama amacıyla yapı elemanı üretiminde kullanılması. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

USAID, USAID website. https://www.usaid.gov/energy/powering-health/technical-standards/cold-chain-refrigeration.

VDI 2164 PCM-Energiespeichersysteme in der Gebaudetechnik. (2016). PCM energystorage systems in building services, published. https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2164-pcm-energiespeichersysteme-in-der-gebaeudetechnik

Verma, P. V., & Singal, S. (2008) Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(4), 999-1031. https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.11.002

Yılmazoğlu, M. Z. (2010). Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması, Politeknik Dergisi, 13,1, 33-42.

Zillerplus. Smart is GREEN website. https://zillerplus.de/project/smart/?lang=en

URL 1: https://www.pcm-ral.org/pcm/en/pcm/certified-products/

URL 2: https://ista.org/