



Evaluation of the hygrothermal performance of external thermal insulation applications on the outer walls of existing buildings

Ayşegül Ekşi Kılıçaslan^{1*}, Hülya Kuş²

¹Faculty of Art Design and Architecture, Department of Architecture, Sakarya University, Sakarya, 54050, Turkey

²Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul Technical University, Istanbul, 34467, Turkey

Highlights:

- Field study on refurbishments with thermal insulation applications in Istanbul.
- Evaluation of the hygrothermal performance of the outer walls of the existing buildings via simulation.
- Comparison of simulation results of the outer walls which are uninsulated and insulated.

Keywords:

- Thermal Insulation
- ETICS
- Hygrothermal Performance
- WUFI 2D
- Simulation

Article Info:

Research Article
Received: 18.10.2019
Accepted: 15.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.634585

Correspondence:

Author: Ayşegül Ekşi Kılıçaslan
e-mail: ayseguleksi@sakarya.edu.tr
phone: +90 506 415 0505

Graphical/Tabular Abstract

External thermal insulation composite system (ETICS) applications on the existing buildings in Istanbul Capa district were examined during construction phase in order to study their hygrothermal performance. In this region, it is observed that, on the existing external wall surfaces of buildings where thermal insulation is applied, impermeable coatings usually glass mosaic, ceramics and marble were used. In the façade refurbishment of these old buildings, boards mostly made of expanded polystyrene (EPS), and in some cases, extruded polystyrene (XPS) are preferred as thermal insulation material. Temperature and moisture changes with time for different wall types before and after refurbishment are presented comparatively and discussed.

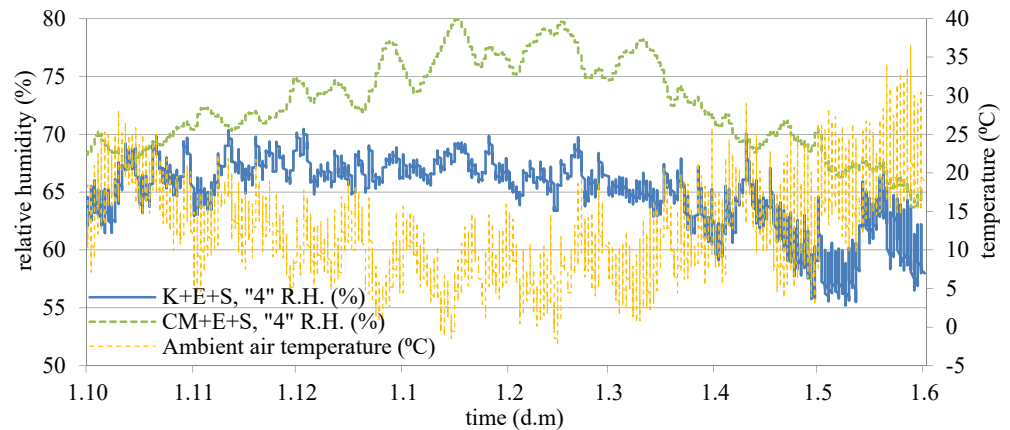


Figure A. An example for the changes in relative humidity rate of inner layers of the 2 different wall types insulated with EPS (E) and coated with external rendering (S) during one year. Control wall (K) has only cement based rendering on the outer surface before the insulation application. The other wall type (CM) has glass mosaic coating on the outer surface before the insulation application.

Purpose: This paper aims to indicate that thermal and moisture behavior of the building elements are two interrelated factors, and therefore it is not possible to obtain the expected performance of the envelope by keeping only one of them under control.

Theory and Methods:

In this study, sample wall types were determined and modelled in WUFI 2D 3.3 simulation tool based on the ETICS applications observed in the field study. Long-term hygrothermal performance of each wall type is evaluated by comparison of simulation results.

Results:

When thermal insulation materials are applied on impermeable coatings on the walls, the moisture amount in the wall layers may reach critical levels in winter because of the moisture arising from high relative humidity of interior space. In that case, insulation materials can get wet and thus thermal resistance properties impair in the long term. Moreover, high moisture levels can cause deteriorations and mold growth in the wall layers.

Conclusion:

In conclusion, thermal insulation applications need a holistic approach and expertise. Before implications, it is important to determine the specific needs of the buildings under refurbishment and the properties of the existing wall layers. Generated solutions and workmanship in this field should be qualified and appropriated for the standards and specifications.



Mevcut binaların dış duvarlarına yapılan dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi

Ayşegül Ekşi Kılıçaslan^{1*}, Hülya Kuş²

¹Sakarya Üniversitesi Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 54050, Sakarya, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- İstanbul'da yapılan dıştan ısı yalıtım uygulamalarının alanda araştırılması
- Mevcut binaların dış duvarlarının higrotermal performansının benzetimle değerlendirilmesi
- Isı yalıtım uygulaması yapılan ve yapılmayan dış duvarların higrotermal performanslarının karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 18.10.2019
Kabul: 15.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.634585

Anahtar Kelimeler:

Isı yalıtımı,
ETICS,
higrotermal performans,
ısı ve nemsel performans,
WUFI 2D,
benzetim

ÖZET

Dünyada gittikçe artan enerji tüketiminin çevreye verdiği zararları azaltabilmek için bina sektöründe alınan önlemlerden biri, binaların kullanım sürecinin enerji etkin bir şekilde tasarlanmasıdır. Binalarda enerji verimliliği sağlayabilmek amacıyla, bina kabuğunda gerçekleşen ısı kayıpları en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Türkiye'de son dönemlerde enerji verimliliği kapsamında getirilen yasal zorunlulukların ve konut ölçeğinde enerji tasarrufu sağlama ihtiyaçlarının etkisiyle, mevcut binalarda dıştan ısı yalıtımı uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Alanda gözlemlenen bazı uygulamalarda, uzun vadede duvarların ısı ve nemsel (higrotermal) performansını olumsuz etkileyebilecek uygulama sorunları dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, mevcut binaların dış duvarlarının higrotermal performansının dıştan ısı yalıtım uygulamalarından ne yönde etkilendiği araştırılmaktadır. İlk bölümde, alan çalışması kapsamında İstanbul Çapa semtinde dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistem (ETICS) uygulamaları gözlemlenmiştir. Bu bölgedeki binaların mevcut duvar yüzeylerinde yaygın olarak cam mozaik gibi su geçirmez kaplamaların bulunduğu ve ısı yalıtım malzemelerinin kaplamalar sökülmeden doğrudan üzerlerine uygulandığı görülmüştür. İkinci bölümde, uygulama öncesi ve sonrası farklı duvar tiplerinin su içeriği, bağıl nem ve sıcaklık değerleri benzetim yöntemiyle hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, geçirimsiz kaplamalar üzerine yapılan uygulamaların duvar bünyesindeki nem miktarının kış döneminde yükselmesine ve uzun dönemde ısı yalıtım malzemelerinin ısı geçirimsizlik özelliklerini kaybetmelerine neden olabileceği görülmüştür. Bu nedenlerle, mevcut binalara sonradan yapılan ısı yalıtım uygulamalarının bütüncül bir yaklaşım ve uzmanlıkla ele alınması önem taşımaktadır.

Evaluation of the hygrothermal performance of external thermal insulation applications on the outer walls of existing buildings

H I G H L I G H T S

- Field study on refurbishments with external thermal insulation applications in Istanbul.
- Evaluation of the hygrothermal performance of the outer walls of the existing buildings via simulation.
- Comparison of simulation results of the outer walls which are uninsulated and insulated

Article Info

Research Article
Received: 18.10.2019
Accepted: 15.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.634585

Keywords:

Thermal insulation,
ETICS,
hygrothermal performans,
WUFI 2D,
simulation

ABSTRACT

One of the precautions taken in building industry in order to minimize the results of increasing energy consumption in the world is energy efficient design of the utilization process of the buildings. In order to ensure energy efficiency in buildings, heat loss through building envelope is tried to be minimized. In Turkey, recently, external thermal insulation applications have been proliferating with the effect of legal obligations and the needs of providing fuel preservation within residences. In this paper, it is researched how hygrothermal performance of the existing building walls would be affected by external thermal insulation applications. In the first chapter of this paper, external thermal insulation composite system (ETICS) applications observed in Istanbul Capa district are dealt with. In this region, it has been seen that there are impermeable coatings on the existing wall surface of buildings where external thermal insulation is applied. In the second chapter, changes in water content, relative humidity rate and temperature of different wall types are calculated via simulation method. According to the results, when thermal insulation materials are applied on impermeable coatings on the walls, the moisture amount in the wall layers may reach critical levels in winter and this situation can cause deteriorations in the wall layers in the long term. For these reasons, it is important to handle external thermal insulation applications on existing buildings with a holistic approach and expertise.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ayseguleksi@sakarya.edu.tr, kushu@itu.edu.tr / Tel: +90 506 415 0505

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de mevcut binaların ısı yalıtımı uygulamasıyla iyileştirilmesi, 2008 yılında Enerji Verimliliği Kanunu’na bağlı olarak yayınlanan Binalarda Enerji Performansı (BEP) yönetmeliğiyle zorunluluk haline gelmiştir [1]. Buna bağlı olarak, deprem riski bulunmayıp kentsel dönüşüme girmeyen önemli sayıda mevcut konut stokunun günümüz konfor şartlarına uygun ve enerji etkin yenilenmesi söz konusu olmuştur. Mevcut konut stokunun kullanıcıları hem yasal zorunlulukların etkisiyle hem de daha ekonomik ısıtma ve soğutma sağlamak amacıyla binalarının cephelerinde, mantolama olarak bilinen, dıştan ısı yalıtımı ile iyileştirme yaptırmaya başlamıştır. Dış duvarlardaki dıştan ısı yalıtımı ve üzeri sıva kaplamalı sistemler şeklindeki bu ısı yalıtım uygulamaları Avrupa’da ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) olarak tanımlanmaktadır. 1940’larda İsveç’te geliştirilmiş olan dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemler (ETICS) Avrupa’da gerek mevcut bina stokunun enerji etkinliğini arttırmak ve hizmet ömrünü uzatmak amacıyla iyileştirmelerde, gerekse yeni yapılan binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Türkiye’nin de üyesi olduğu Avrupa Teknik Onay Organizasyonu (EOTA - European Organisation for Technical Approvals) tarafından 2000 yılında yayınlanan Avrupa Teknik Onay Rehberi (ETAG) 004, dıştan ısı yalıtımlı ve sıva kaplamalı bir kompozit sistemin CE işareti alabilmesi için sağlaması zorunlu olan kriterleri içermektedir. ETAG 004’te dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemlerin bileşenleri, birleşimleri ve tespitleri ayrıntılı olarak ele alınmakta; uygulama sürecine ve testlerine yönelik esaslar belirtilmektedir [3].

Literatürde, ETICS uygulamaları ve genel olarak dış duvarların higrotermal performansının değerlendirilmesi üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. ETICS üzerine yapılan bu çalışmalarda, ağırlıklı olarak, sistemin dış duvarların ısı ve nemsel performansına etkisi, nemlenme ve yoğuşma riskleri, ısı köprüsü oluşumu, mekanik dayanımı ve durabilitesi gibi konular ele alınmaktadır. Dış duvarların higrotermal performansının değerlendirildiği çalışmalarda ise, duvar katmanlarının farklı malzemelerle yapılması ya da farklı sıralanması durumlarında oluşabilecek ısı ve nem kaynaklı bozulmalar, hasarlar gibi performans sorunları ile birlikte bu sorunları önlemeye yönelik çözümler ve öneriler üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu araştırmaların yöntemleri, genel olarak; (i) alanda gözlem, (ii) kullanım sırasında yerinde veya laboratuvar ortamında farklı ölçeklerdeki deney düzeneklerinde ölçme, (iii) bilgisayarlı benzetim ve sayısal hesaplama olarak sınıflandırılabilir. Bazı çalışmalarda birden fazla araştırma yönteminin bir arada kullanıldığı da görülmektedir.

ETICS ile ilgili uluslararası çalışmalar, genellikle, yapılan uygulamaların ETAG 004 rehberinde ayrıntılandırılan ve ölçme yöntemleri tariflenen performans gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığının araştırılması üzerinedir. Bu kapsamda, bu uygulamalarda kullanılan malzemelerin, cephe yönlenmesinin, yağmur ve rüzgar etkilerinin ve iç ortam kullanım koşullarının sistemin ısı yalıtım performansı, hizmet ömrü ve durabilitesi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar

bulunmaktadır. Ayrıca, ETICS ısı yalıtım sisteminin ısı köprülerini engelleyecek şekilde bina kabuğuna entegre olması üzerine yapılmış çalışmalar da vardır. Malanho ve Veiga [4] seramik kaplamalı bir ETICS uygulamasında yaptıkları doğal ve yapay yaşlandırma testleriyle, ısı yalıtım malzemesinin duvar yüzeyine ve seramik kaplamanın yalıtım malzemesine yapışma/tutunma kuvvetini ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, ETAG 004 uygulama rehberinde seramik kaplamanın ETICS ile ele alınmadığını ve performansının değerlendirilmesine yönelik bilgi verilmediğini belirtmişlerdir. Lujan vd. [5] Madrid’deki mevcut bir apartmanda yapılan ETICS uygulamalarının, binanın kuzey ve güney yönlerine bakan dış duvarlarının ısı performansına olan etkisini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla, ısı yalıtım uygulamasından önce ve sonra duvarların iç ve dış yüzeylerine yerleştirdikleri sıcaklık sensörleriyle ölçme yapmışlardır. Silva ve Falorca [6] Portekiz’deki hatalı ETICS uygulamaları sonucu ortaya çıkan kusurları alanda gözlem yöntemiyle tespit ederek, ETICS’in durabilitesini ve yaşam dönemi performansını değerlendirmişlerdir. Tavares vd. [7] Portekiz’deki 378 adet ETICS uygulaması örneğinden yola çıktıkları çalışmalarında, iki farklı sayısal hesaplama yöntemiyle bu cephe sistemlerinin durabilitesini ve hizmet ömürlerini değerlendirerek bakım ve onarım maliyetlerini düşürecek uzun ömürlü, etkin tasarım ve uygulama çözümleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Fernandes vd. [8] mevcut binaların yenilenmesinde pencere doğramalarının çevresinde ısı köprüsü oluşturmayacak farklı uygulama yöntemlerini araştırmışlardır.

Dış duvarların higrotermal performansının değerlendirilmesi konusunda yapılmış olan uluslararası çalışmalar, genellikle, farklı dış duvar katmanlaşmalarının ve yeni geliştirilmiş malzemelerin kullanımının dış duvarların ısı ve nemsel performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması üzerinedir. Bu kapsamda, dış duvar sistemlerinde sıcaklık ve nem etkileriyle oluşan fiziksel ve kimyasal hasarlar, biyolojik bozulmalar, özellikle duvar sistemini oluşturan katmanların farklı buhar geçirgenliklere sahip olması ve doğru sıra ile uygulanmaması nedeniyle duvar bünyesinde oluşan sorunlar üzerine çalışmalar vardır. Bu alandaki çalışmaların önemli bölümünde, soğuk-nemli iklim bölgelerindeki ahşap yapıların dış duvarlarının higrotermal performansı araştırılmıştır [9-11]. Daha az çalışmada, ısı yalıtım uygulamasıyla iyileştirilmiş yığma/örme duvarların higrotermal performansı benzetim ve ölçme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [12, 13]. Bu çalışmalarda, dış duvarlara içten yapılan ısı yalıtımının iç ortamdan gelen nemin duvar bünyesinde soğuk bir noktada yoğuşmasına ve bu bölgede nem kaynaklı sorunlar oluşmasına neden olduğu belirtilmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. Özellikle, son yıllarda yapılan çalışmalar, duvarların iç yüzeylerine yapılan ısı yalıtım uygulamalarından kaynaklanan nem problemlerinin yeni geliştirilen ısı yalıtım malzemeleri ile önlenmesi üzerinedir. Finken vd. [14] Danimarka’da bulunan tarihi bir yurt binasının tuğla duvarlarına yapılacak olan içten ısı yalıtımının ısı ve nemsel performansını ve küflenme riskini kapiler özellikleri farklı olan üç ısı yalıtım malzemesi üzerinden benzetim yöntemiyle değerlendirmişlerdir.

İbrahim vd. [15] Fransa’da yaptıkları çalışmada ETICS benzeri olarak geliştirilmiş aerogel esaslı kompozit sistemin içten ve dıştan uygulandığı kuzey yönüne bakan iki betonarme test duvarının higrotermal performansını ölçme ve benzetim yöntemleriyle araştırmışlardır.

ETICS uygulamalarının higrotermal performans üzerindeki etkilerini değerlendiren bazı çalışmalarda ETICS’in ısı yalıtımı katmanında ve son kat kaplamasında sıcaklık ve nem etkisiyle oluşan fiziksel hasarlar ve biyolojik bozulmalar araştırılmaktadır. Zirkelbach vd. [16] Avrupa’nın farklı iklim koşullarında yapılan ETICS uygulamalarında kullanılan mineral yün esaslı ısı yalıtım malzemesinde sıcaklık ve nem etkisi altında oluşan gerilmeleri benzetim yöntemiyle hesaplayarak, malzemenin yüzeyden kopma olasılığını araştırmışlardır. Barreira ve de Freitas [17] ETICS’teki kaplama yüzeyinde nemli ortam şartlarıyla oluşan biyolojik bozulmaları Portekiz’deki bir binayı bir yıl boyunca gözlemleyerek incelemişlerdir. Pereira vd. [18] seramik, doğal taş, sıva ve boya kaplamalı duvar tipleriyle, sıva kaplamalı ETICS uygulaması yapılmış veya çıplak beton olarak bırakılmış duvar tiplerinin dış yüzeylerinde oluşan nem kaynaklı bozulmaları ve bunların nedenlerini araştırmışlardır. Nem etkisiyle oluşan bozulmaların en fazla ETICS uygulanmış duvarların dış yüzeyinde görüldüğünün belirtildiği çalışmada; yanlış tasarım, hatalı detaylandırma, malzeme seçiminin iklimle uyumsuzluğu ve düşük işçilik kalitesi bu bozulmaların nedeni olarak gösterilmiştir. Lourenço vd. [19] Portekiz’de yaptıkları test çalışmasında, kaplama malzemesi olarak seramik uygulanmış ETICS’teki ve seramik kaplamalı tuğla bir duvardaki kaplamalarda dış iklim etkileriyle meydana gelen bozulmaları termal kamerayla gözlemleyerek araştırmışlardır. Xiong vd. [20] ise ince bir sıvadan oluşan geleneksel ETICS kaplamalarının sıcaklık ve nem etkisiyle kolay çatlayıp bozulmaya uğradığını belirterek, metal panel kaplamalı ETICS alternatifleri üzerine çalışmışlardır.

Türkiye’de dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemlerin (ETICS) gittikçe yaygınlaşmasına karşın, bu konuda yapılan bilimsel araştırmalar ülkemizde hala sınırlı sayıdadır. Özellikle, higrotermal performansa yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. ETICS konusunda ulusal literatürde bulunan çalışmalar, sistemlerin dürabilitesinin, hizmet ömrünün, ısı yalıtım performansının, ısı yalıtımı ve son kat kaplama malzemelerinin mekanik direncinin ve yangın dayanımının değerlendirilmesi üzerinedir. Edis ve Türkeri [21] İstanbul’da XPS ve EPS ısı yalıtım malzemesi kullanılarak ETICS uygulaması yapılmış binaların rüzgarla itilen yağmur suyu ve güneş ışınımı etkilerine en fazla maruz kalan cephelerini gözlemleyerek, sistemlerin uzun dönem performansını ve dürabilitesini değerlendirmişlerdir. Türkmen [22] İstanbul’da alanda gözlemediği 19 adet ısı yalıtım uygulama örneğinden yola çıkarak, uygulama aşamasındaki sorunları ısı performansının etkinliği açısından değerlendirmiş ve uzun dönemde oluşabilecek olası performans sorunlarını genel olarak tartışmıştır. Uygunoğlu vd. [23] Türkiye’de ETICS uygulamalarında yaygın olarak kullanılan farklı ısı yalıtım malzemelerinin sıva kaplama ile adezyonunu ve yangın

performansını iyileştirmek için gerekli olan optimum sıva kalınlığını araştırmışlardır.

Higrotermal performans konusunda ulusal literatürde bulunan çalışmalar, farklı dış duvar tiplerinin ve katmanlaşmalarının ısı ve nemsel açıdan değerlendirilmesi ve nem kaynaklı sorunların araştırılması üzerinedir. Umaroğulları vd. [24] Edirne’de bulunan, kuzey yönüne bakan 1 m yüksekliğindeki bir duvarın farklı ısı yalıtımı ve gövde malzemeleriyle inşa edilmesi durumundaki higrotermal performansını benzetim yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Edis ve Kus [25], İstanbul iklim etkileri altında bulunan pomza agregalı beton bloklarla örülmüş bir duvarın ısı yalıtımı ve kaplama varlığına göre çeşitlendirilen alternatiflerinin higrotermal performansını benzetim yöntemiyle araştırmışlardır. Sarıtabak [26] İstanbul’da bulunan binaların dış duvarlarında ve duvarların ara kesitlerinde ısı köprüsü, hava sızıntısı, dış ve iç ortam koşullarının etkisiyle oluşan nem ve yoğunlaşma sorunlarını kızılötesi termografi ile değerlendirmiştir.

Bu çalışma, Türkiye’de mevcut binalara sonradan uygulanan ETICS sistemlerinin, mevcut araştırmalardan farklı olarak, özellikle alan araştırması ile yapım sırasında yerinde gözlemlenerek incelenmesiyle belirlenen gerçek durumların veya sorunların WUFI bilgisayarlı benzetim yöntemiyle higrotermal performans açısından ele alınarak değerlendirilmesini kapsamaktadır. Çalışmanın ilk bölümünü oluşturan İstanbul’daki alan araştırmasında, yapım sırasında gözlemlenerek incelenen ETICS uygulamalarında, ısı yalıtımının binaların dış duvarlarına pratik uygulamalarda “BTB” olarak bilinen cam mozaik, mermer taş, seramik gibi özellikle geçirimsiz olarak tanımlanabilecek cephe kaplamalarının, çoğunlukla sökülmezsizin ve herhangi bir iyileştirme yapılmaksızın, doğrudan üzerlerine uygulandığı tespit edilmiştir [27]. Bu ve benzer kaplamalar veya katmanlar üzerine uygulanan ETICS sistemlerinin higrotermal performansının değerlendirildiği bu çalışma, bu durumun belirli bir dönemde Türkiye’de yaygın olarak kullanılmış olan cam mozaik (BTB) kaplamalı cephe tipolojisine özgü olması ve yurtdışında benzer uygulamaların (yaygın olarak) bulunmaması nedeniyle ulusal ve özellikle uluslararası çalışmalarda bu konu kapsamında araştırılan malzemelerden ve uygulamalardan farklılaşan özgün bir çalışmadır. Bu nedenlerle, Türkiye’de son yıllarda oldukça yaygınlaşan bu tür hatalı mantolama uygulamalarının uzun dönemdeki higrotermal performansının araştırılması, literatürdeki bu eksikliği doldurması ile birlikte, enerji etkinliğin sağlanmasında, dolaylı olarak da ekonomiye yansımada, olası olumsuz etkilere dikkat çekmesi açısından önemli bir konu olarak görülmektedir.

2. ALAN ÇALIŞMASI (FIELD STUDY)

Son dönemlerde gittikçe yaygınlaşan dıştan ısı yalıtım uygulamalarının dış duvarların higrotermal performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla, öncelikle, belirlenen bir bölgede mevcut binalar ve devam etmekte olan

ısı yalıtım uygulamaları incelenerek durum tespiti yapılmıştır.

2.1. Çalışma Bölgesi ve Mevcut Binalar ile İlgili Genel Özellikler

(Research District and General Characteristics of Existing Buildings)

Alan çalışmasının yapıldığı Çapa bölgesi, İstanbul genelinde yaygın olarak görülen bina tipolojisini de oluşturan, 1960-1980 dönemlerinde inşa edilmiş konut binalarından oluşmaktadır. Yoğun bir yapılaşmanın bulunduğu bu bölgede sokak aralarında ısı yalıtımı uygulamaları çok hızlı bir şekilde ve art arda yapılmaktadır. Bundan dolayı, alan araştırması sırasında cadde ve sokak aralarında bulunan mevcut binalarda çok sayıda ısı yalıtımı uygulaması gözlemlenebilmiştir.

Bölgedeki binalar genellikle üç, dört veya beş katlı olup; bitişik nizamdadır. Cadde üzerindeki karşılıklı binaların arasında kaldırım ve yol genişlikleri ile birlikte yaklaşık 12 m mesafe bulunurken, sokak üzerinde bulunan binaların arasındaki mesafe 6 m'ye kadar düşebilmektedir ve bu nedenle karşılıklı binaların özellikle zemin katları günün büyük bir bölümünde gölgede kalmaktadır. Binaların yola bakan cephelerinin saydamlık oranları, yönlendirmelerinden bağımsız olarak, %20 ile %50 arasında değişmektedir. Bazı binaların yan cepheleri de açıktır, ancak bu cepheler genellikle sağır duvarlardan oluşmaktadır. Binaların çoğunun dış duvarlarına, aynı dönemde İstanbul'da inşa

edilen birçok binada da görülen, delikli tuğla üzerine cam mozaik (BTB) cephe kaplaması uygulanmış olup, bazılarında da çimento esaslı sıva üzerine boya yapılmıştır. Sıva üzeri boya kaplama ve cam mozaik (BTB) kaplama daha çok bina cephesinin üst katlarında, seramik kaplama ve mermer kaplama cephenin zemin kat bölümünde yaygın olarak kullanılmıştır (Şekil 1).

2.2. Mevcut Bina Cephelerine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları

(Thermal Insulation Applications on the Outer Walls of Existing Buildings)

Alandaki mevcut uygulamalarda ısı yalıtım malzemelerinin genellikle rastgele seçilip boyutlandırıldığı ve uygulamaların mevcut kaplamanın sökülmesi çok işçilik gerektirdiğinden, genellikle cam mozaik kaplamalar sökülmeden üzerine yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, yıllar içinde kirlenme, çatlama, aşınma ve malzeme kaybı gibi çeşitli bozulmalara uğrayan bu mevcut kaplama yüzeylerinin ısı yalıtımından önce temizlenip iyileştirilmediği gözlemlenmiştir. Bazı durumlarda, özellikle zemin katlardaki mermer ve seramik kaplamalar sökülmüş ve ısı yalıtımı uygulamasından sonra yeniden seramik kaplama uygulaması yapılmıştır. Şekil 2'de cam mozaik bir yüzey üzerine doğrudan ısı yalıtımı uygulaması yapıldığı görülmektedir. Dış duvar yüzeylerinde çoğunlukla EPS ısı yalıtım levhaları kullanılırken, pencere kenarlarına genellikle XPS levhaların uygulandığı gözlemlenmiştir. Köşe profili kullanılmak için pencere kenarlarında darbe dayanımı yüksek olan XPS levhaların



Şekil 1. Mevcut dış duvar kaplamaları (Outer wall coatings in existing situation)



Şekil 2. Mevcut cam mozaik kaplama yüzeyi üzerine doğrudan EPS ısı yalıtımı levhasının uygulanması
(Application of EPS insulation boards directly to the wall which has glass mosaic surface coating in existing situation)

tercih edildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, ön-üretimli ısı yalıtımlı kaplama paneli, kat silmesi ve söve kullanımı yaygın olan uygulamalardandır. Geçirimsiz yüzey üzerine doğrudan yapıştırıcı harçla uygulanan bu ön-üretimli kaplama malzemelerinin tespitinde dübel kullanılmaması, derzlerinin yağmur ve rüzgar etkilerine maruz kalması, böylece duvarların uzun dönem performansını olumsuz etkileyecek bir durum oluşturması olasılıkları yüksektir. İncelenen binaların çoğunda ısı yalıtım malzemesi olarak uygulayıcıların ellerinde mevcut bulunan binisiz ve küçük parçalı EPS levhaların uygulandığı ve bu nedenle levhalar arasında ısı köprülerinin kalacağı görülmüştür. Ayrıca, ısı yalıtım levhalarının duvara tespitinde kullanılan yapıştırıcı harcın rastgele sürüldüğü, dübellerin sayısının ve düzeninin standartlardaki gerekliliklere uymadığı gözlemlenmiştir (Şekil 2).

3. DIŞ DUVARLARDA HİGROTHERMAL PERFORMANSIN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF THE HYGROTHERMAL PERFORMANS OF OUTER WALLS)

Bina bileşenlerinin belirli bir zaman dilimindeki higrotermal performansının çalışıldığı araştırmalarda ısı ve nem analizlerini yapmak üzere çeşitli benzetim yazılımları kullanılmaktadır [28]. Alt bölümlerde ayrıntıları verilen bu çalışmada, benzetim yazılımı WUFI 2D kullanılarak, alanda gözlemlenen uygulamalardan sorunlu olduğu ön görülen bazı dıştan ısı yalıtımlı duvar tiplerinin higrotermal performansı araştırılmıştır.

3.1. Mevcut ve Uygulama Sonrası Dış Duvar Tipleri (Wall Types in Existing and After Application Situations)

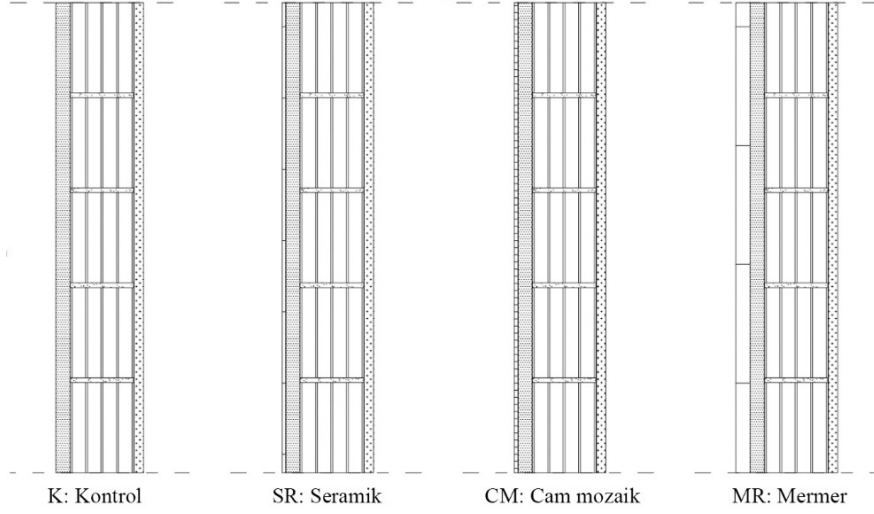
Alan çalışması kapsamında gözlemlenen farklı duvar tipleri WUFI 2D benzetim yazılımında karşılaştırma amaçlı mevcut duruma ve dıştan ısı yalıtımı uygulaması sonrası duruma göre modellenmiştir. Mevcut durumdaki duvarlar, aralarında 1 cm kalınlığında harç tabakası bulunan 5 sıra düşey delikli tuğla bloktan oluşmaktadır ve bütün duvarlarda iç sıva kalınlığı 2 cm alınmıştır. Farklı dış kaplama malzemelerine göre mevcut duvar tipleri Şekil 3'te verilmiştir. "K" ile

kodlanan sistem kontrol duvarına aittir ve bu duvarda tuğla bloklar üzerinde sadece dış sıva katmanı vardır. "SR" kodlu duvar sisteminde dış sıva üzerinde seramik kaplama, "CM" kodlu duvar sisteminde dış sıva üzerinde cam mozaik kaplama ve "MR" kodlu duvar sisteminde dış sıva üzerinde mermer kaplama bulunmaktadır. Kaplama derzlerinin geçirimsiz olduğu kabul edilmiştir. Benzetimle hesaplama yapmak amacıyla dört mevcut duvar tipinin 2 farklı ısı yalıtımı malzemesi ve 2 farklı kaplamalı alternatifleri ile birlikte toplam 20 farklı duvar tipi oluşturulmuştur. Modellenerek analiz edilen duvar tiplerinin ayrıntıları Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 4'te mevcut ve üzerine EPS levha ile sıva kaplama (ETICS) uygulanmış duruma göre oluşturulan 8 farklı duvarın benzetim sonuçlarından elde edilen bir karşılaştırma grafiği bulunmaktadır. Cam mozaik, seramik ve mermer malzemeler aynı çevresel etmenlere maruz kaldığında, benzer karakteristik özelliklerinden dolayı benzer bir davranış gösterdiğinden grafikte birbirine yakın eğriler oluşturmuştur. Bu nedenle bu yazıda, sadece mevcut durumda sıva kaplamalı olan kontrol duvarı ve cam mozaik kaplamalı olan duvar tiplerine ait sonuçlar sunulmaktadır.

Çalışmada kullanılan mevcut ve üzerine ETICS uygulanmış duruma göre modellenen duvar sistemleri, katmanlaşma malzemeleri ve kalınlıklarına göre Şekil 5'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışılan duvar tiplerinde hesaplama yapılan bölgeler, iç sıvada "1", tuğla duvar gövdelerinde "2" ve "3", dış sıvada "4", ısı yalıtımında "5" numaralı noktalar olarak ifade edilmiştir.

3.2. Benzetim Modelinin Oluşturulması ve Katman Malzemelerinin Özelliklerinin Belirlenmesi (Forming Simulation Model and Determining Material Properties of the Wall Layers)

WUFI 2D benzetim yazılımı sonlu elemanlar yöntemiyle çalıştığı için hesaplamalarda kullanılacak bir ağ modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, seçilen bir duvar tipi için farklı ağ modelleri ile hesaplama yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak hesaplama süresi ve hassasiyeti açısından optimum sonucu veren ağ modeline karar verilmiştir.



Şekil 3. Mevcut durumda farklı dış yüzey kaplamalı duvar tipleri
(the wall types with different outer surface coatings in existing situation)

Tablo 1. Mevcut duruma ve ısı yalıtımı sonrası duruma göre modellenerek analiz edilen duvar tipleri
(The wall types which are modelled according to the situations before and after application and analyzed)

Mevcut duruma göre oluşturulan duvar tipleri	Isı yalıtımı (ETICS) uygulaması sonrası duruma göre oluşturulan duvar tipleri			
	EPS ısı yalıtımı levhası+sıva kaplama uygulaması	XPS ısı yalıtımı levhası+sıva kaplama uygulaması	EPS ısı yalıtımı levhası+seramik kaplama uygulaması	XPS ısı yalıtımı levhası+seramik kaplama uygulaması
K (sıva kaplamalı)	K+E+S	K+X+S	K+E+SR	K+X+SR
CM (cam mozaik kaplamalı)	CM+E+S	CM+X+S	CM+E+SR	CM+X+SR
SR (seramik kaplamalı)	SR+E+S	SR+X+S	SR+E+SR	SR+X+SR
MR (mermer kaplamalı)	MR+E+S	MR+X+S	MR+E+SR	MR+X+SR

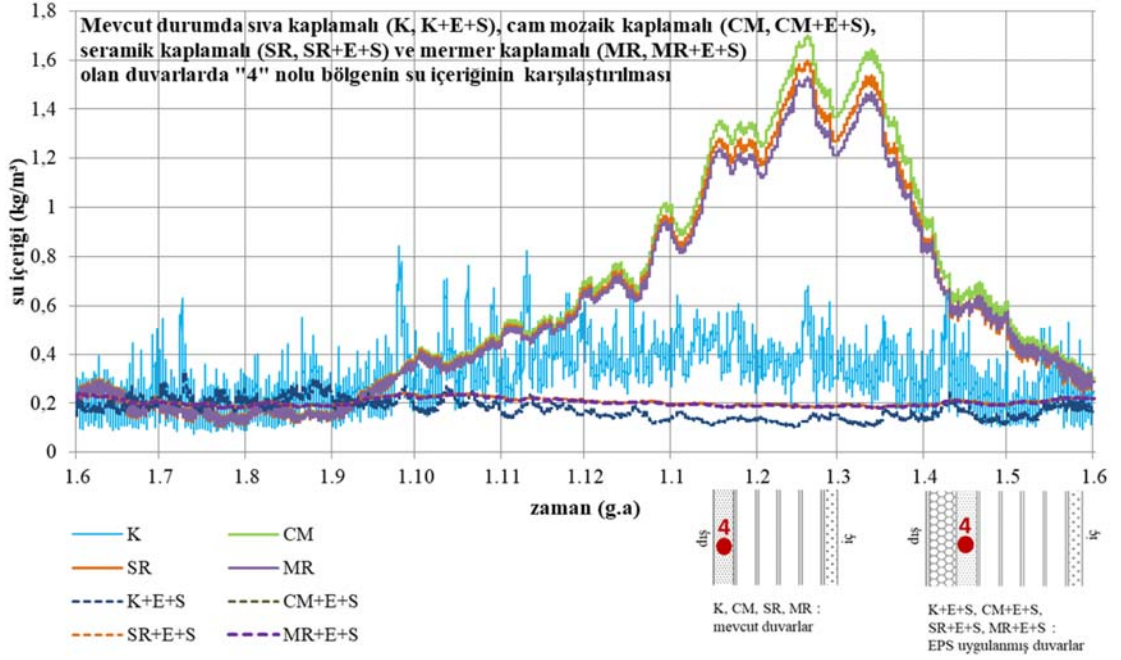
Hesaplamalarda kullanılmak üzere duvar gövdesindeki tuğla bileşenlerin özellikleri için WUFI 2D yazılımının kütüphanesinden alandaki uygulamalarda kullanılan tuğlanın özelliklerine en yakın/en uygun değerlerde olanları seçilmiştir. Çimento-kireç iç sıva, EPS ve XPS ısı yalıtım levhaları, cam mozaik, mermer ve seramik kaplamanın teknik özellikleri yine uygulamalarda kullanılan malzemelere uygun olacak şekilde standartlardan yararlanılarak yazılıma ayrıca elle girilmiştir [29, 30].

3.3. Benzetim için Başlangıç ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi (Determining Initial and Boundary Conditions for Simulation)

Higrotermal performans analizi için benzetim yazılımında alınacak başlangıç tarihine bağlı olarak malzemelerin etkisi altında bulunduğu dış ortam şartlarının (başlangıç koşullarının) belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, cam mozaik, seramik ve mermerin buhar difüzyon direnci yüksek olduğu için, nemlilik durumları kuru kabul edilmiştir.

Isı yalıtımı üzerine yaş uygulama olarak yapılan sıva katmanının bağıl nem değerine, inşa neminin de etkisiyle, yüksek bir nem oranı girilmiştir. Sıcaklık için yazılımda tanımlı olan ortalama değerler kullanılmıştır.

Sınır koşullarının belirlenmesi adımı duvar sistemlerinin dış ve iç yüzeyleri ile temas eden sırasıyla dış ve iç ortam şartları yazılıma girilmiştir. Duvarların alt ve üst yüzeyleri ısı iletmez (adiabatic) seçilirken, dış ortamla temas eden yüzeyler için Meteororm'dan alınan ve 1996-2005 zaman aralığındaki sıcaklık verilerinden elde edilen ortalama bir referans yıla dayanan İstanbul iklim verileri kullanılmıştır. Bu iklim verileri bulutluluk oranı, hakim rüzgar yönü, rüzgar hızı, hava basıncı ve bağıl nem bilgilerini de içermektedir. Yönlenme için WUFI 2D yazılımı tarafından bu veriler kullanılarak oluşturulan yağış grafiğine göre rüzgarla itilen yağmur suyunun İstanbul'da en etkili olduğu kuzeybatı yönü tercih edilmiştir. Güneş ışınımı ve rüzgarla itilen yağmurla ilgili ek bilgiler için WUFI 2D ile İstanbul iklim verileri kullanılarak olumsuz koşullar altında hesaplama yapılan



Şekil 4. K, CM, SR, MR, K+E+S, CM+E+S, SR+E+S, MR+E+S kodlu duvar tiplerinin dış sıva katmanlarının su içeriği (Water content of the external plaster (4) layers of the walls which are coded as K, CM, SR, MR, K+E+S, CM+E+S, SR+E+S, MR+E+S)

benzer bir çalışmanın verilerinden yararlanılmıştır [25]. İç ortam koşulları için WUFI 2D kütüphanesinden seçilen EN 15026 standardına göre dış ortam sıcaklığı 20°C'nin üzerine çıktığında, iç ortamdaki sıcaklık 25°C ve bağıl nem %60 olarak sabitlenmektedir. Dış ortamdaki sıcaklık 0°C'in altına düştüğünde ise, iç ortamdaki sıcaklık 20°C'de sabit kalmakta ve bağıl nem %30'a kadar azalmaya devam etmektedir.

3.4. Hesaplamanın Başlatılması, Hesaplama Süresi ve Sıklığı

(Initiating the Calculation, Calculation Duration and Frequency)

Çalışmada 8760 saatlik (1 yıl) süre boyunca duvar kesitlerinde seçilen bölgenin noktasal veya alansal olarak sıcaklığı (°C), bağıl nemi (%) ve su içeriği (kg/m³) miktarındaki değişimler hesaplanmıştır. Benzetim yazılımı hesaplama sonuçlarını grafik olarak ya da sayısal olarak saatlik ortalama değerler şeklinde vermektedir. Elde edilen sayısal sonuçlar sonradan Excel'de işlenerek hidrotermal açıdan karşılaştırmalı grafikler oluşturularak değerlendirilmiştir. Mevcut duvar tiplerinde dört ve uygulama sonrası duvar tiplerinde beş olmak üzere farklı katmanlardaki bölgelerden sonuçlar alınmıştır (Şekil 5). Bu yazıda ağırlıklı olarak mevcut geçirimsiz kaplamanın arkasındaki sıva katmanı (4) ve ısı yalıtımı (5) gibi özellikle yüksek riskli bölgelere ait sonuçlar sunulmaktadır.

4. Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

(Evaluation of the Results of Simulation)

Benzetim sonuçları mevcut duruma ve ısı yalıtım uygulaması sonrası duruma göre karşılaştırılmak üzere iki ayrı alt başlıkta ele alınmaktadır. Uygulama sonrası durumda

ısı yalıtım malzemelerinin ve son kat kaplama malzemelerinin farklılaşmasının hidrotermal performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

4.1. Mevcut Duruma göre Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

(Evaluation of the Results of Simulation According to the Existing Situation)

Mevcut durumdaki, yalıtımsız duvarlarda cam mozaik kaplamalı duvar tipinin (CM) "4", "3", "2" ve "1" no'lu bölgelerinin ve sıva kaplamalı duvar tipinin (K) "4", "2" ve "1" no'lu bölgesinin bağıl nem miktarındaki bir yıllık değişimi Şekil 6'daki grafikte verilmektedir. Kışın ısıtma yapılan Kasım-Mayıs ayları arasındaki dönemde CM kodlu duvar tipinde cam mozaik kaplama altında kalan "4" no'lu bölgenin, K kodlu duvar tipindeki "4" no'lu bölgeye göre daha yüksek nem içerdiği görülmektedir. Bu durumdan, CM kodlu duvar tipinde iç ortam neminin cam mozaik kaplamanın geçirimsiz olması nedeniyle dış ortama çıkamayıp kaplama arkasındaki bölgede biriktiği ve yaz aylarında dış hava sıcaklığının artmasıyla birlikte duvar bünyesine ve iç ortama doğru kuruduğu sonucu çıkarılabilir. CM kodlu duvar tipinin tuğla katmanında bulunan içeriye doğru sırasıyla "3" ve "2" no'lu bölgelerin bağıl nem oranlarının Nisan ayında başlayan kuruma döneminde "4" no'lu bölgeyle yaklaşık aynı değerlere ulaşması bu çıkarımı doğrulamaktadır.

Ayrıca, K kodlu duvar tipinin bağıl nem değerlerinde yıl boyunca gece-gündüz farklılığının çok fazla olduğu ve mevsimsel farklılığın az olduğu görülmektedir. Diğer yandan, CM kodlu duvar tipinin bağıl nem değerlerinin yaz-

	Mevcut duvar tipleri		Uygulama sonrası duvar tipleri			
	Isı yalıtımı uygulaması öncesi duvar kaplamalarına göre		EPS(E)+Sıva Kaplama(S)	XPS(X)+Sıva Kaplama(S)	EPS(E)+Seramik Kaplama(SR)	XPS(X)+Seramik Kaplama(SR)
Bileşen kodu	K		K+E+S	K+X+S	K+E+SR	K+X+SR
Bileşen Katmanları	(D) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)		(D) sıva kaplama (4 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) sıva kaplama (4 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti						
Bileşen kodu	CM		CM+E+S	CM+X+S	CM+E+SR	CM+X+SR
Bileşen Katmanları	(D) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)		(D) sıva kaplama (4 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) sıva kaplama (4 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) ısı yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti						
Hesaplama Bölgeleri	dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)		ısı yalıtımı (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	ısı yalıtımı (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	ısı yalıtımı (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	ısı yalıtımı (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)

Şekil 5. Uygulama sonrasına göre modellenen duvar tipleri ve duvar kesitlerindeki hesaplama bölgeleri
(The wall types which are modelled according to the situation after application and calculation areas on the wall sections)

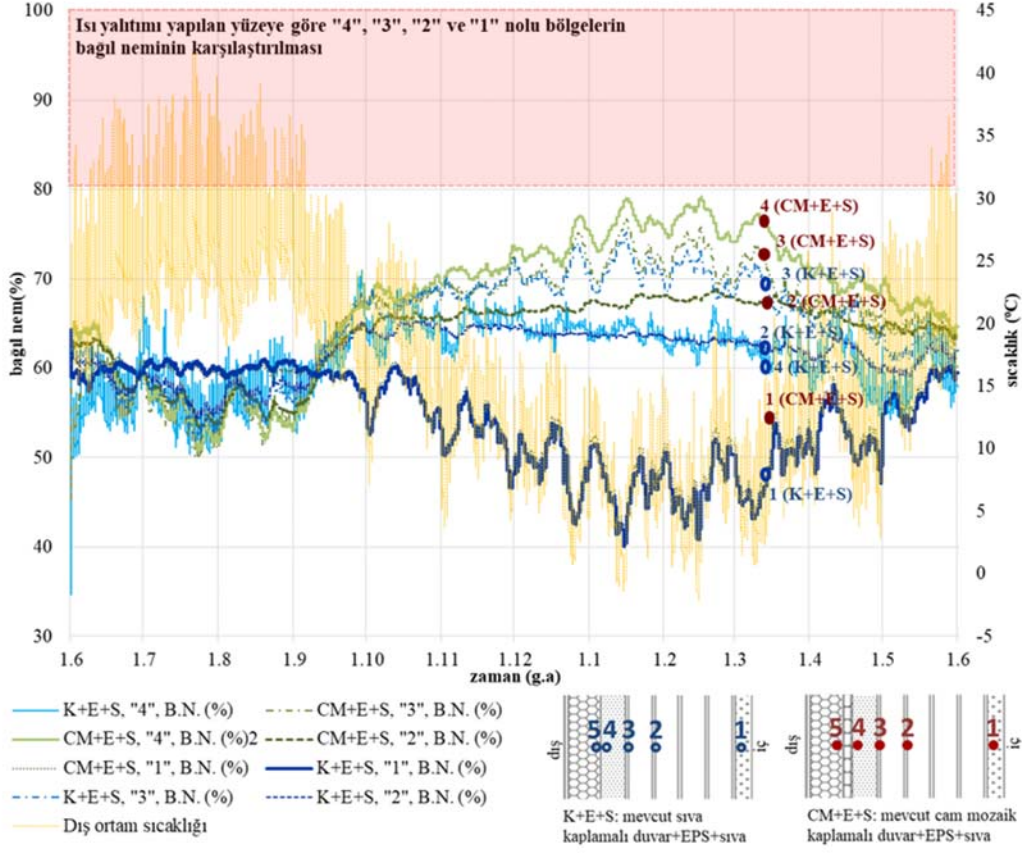
kış farklılığı çok yüksekken, gece-gündüz farklılığı oldukça düşüktür. Bu duvar tipinde gece-gündüz farklılığının en düşük seviyelere indiği Kasım-Nisan ayları arasında “4” ve “3” no’lu bölgelerde yoğuşmaya bağlı ıslanma olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu duvarların kuzeybatı yönüne bakmasından dolayı cephe yüzeyinde pek fazla güneşlenme olmayacağından kuruma olasılığının düşük olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

International Energy Agency tarafından hazırlanan bir rapora göre bağıl nem oranının %80’e ulaşması durumunda küf gelişimi riski oluşmaktadır [31]. CM kodlu duvar tipinde Kasım-Mayıs ayları arasında “4” ve “3” nolu bölgelerin bağıl nem oranlarının %80’in üzerinde olması nedeniyle bu dönemde CM kodlu duvar tipindeki bu bölgelerde küf oluşumu riski yüksektir. K kodlu duvar tipinin “4” no’lu bölgesinde de kış döneminde %80’in üzerine çıkan nem

oranları yoğuşmaya ve küflenmeye yol açabilir ancak bu duvar tipinde nem oranı zaman zaman düştüğü için risk daha azdır. Yüksek nem oranlarının ve kış mevsiminin düşük sıcaklıklarının etkisiyle iki duvar tipinde de “4” no’lu bölgede donma-çözünmeye bağlı hasar oluşabilir. Ayrıca, CM kodlu duvarda cam mozaik kaplamada bozulmalar öngörülebilir.

4.2. Uygulama Sonrası Isı Yalıtımlı Duruma göre Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of the Results of Simulation According to the Situation After Applications of Thermal Insulation)

EPS ısı yalıtım levhası ve sıva kaplama uygulaması yapılmış olan mevcut durumda sıva kaplamalı olan duvar (K+E+S) tipindeki “4” no’lu bölgenin ve cam mozaik kaplamalı duvar (CM+E+S) tipindeki “4”, “3” ve “2” no’lu bölgelerin bağıl



Şekil 7. K+E+S ve CM+E+S kodlu duvar tiplerinin çimento dış sıva (4) ve tuğla (3, 2) ve iç sıva (1) katmanlarının bağıl nemi (Relative humidity of the external cement plaster (4) and hollow brick (3,2) and internal plaster (1) layers of the walls which are coded as K+E+S ve CM+E+S)

malzemesinin yaşlanma süresini, boyutlarını, stabilitesini ve teknik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, ısı yalıtım malzemesinin kullanım ömrü kısalmaktadır [32]. Buna bağlı olarak, en riskli durumun görüldüğü K+X+S duvar tipinde XPS ısı yalıtım malzemesinin iç ortam neminin dışarıya çıkmasını engelleyerek ısı yalıtımının duvara tespit edildiği yüzeyde birikmesine neden olacağı ve uzun dönemde nem kaynaklı hasarlara uğrayarak duvardan ayrılacağı ya da işlevini yitireceği söylenebilir.

Benzetim çalışmasında cam mozaik kaplamadaki çatlak ve aşınmalardan kaynaklanan su ve hava sızıntıları dikkate alınmadığı için, CM+E+S ve CM+X+S duvarlarının ısı yalıtım katmanlarında iç ortam neminin etkisi görülmemektedir. Gerçek durumda bu sonuçların farklı olabileceği düşünülmektedir.

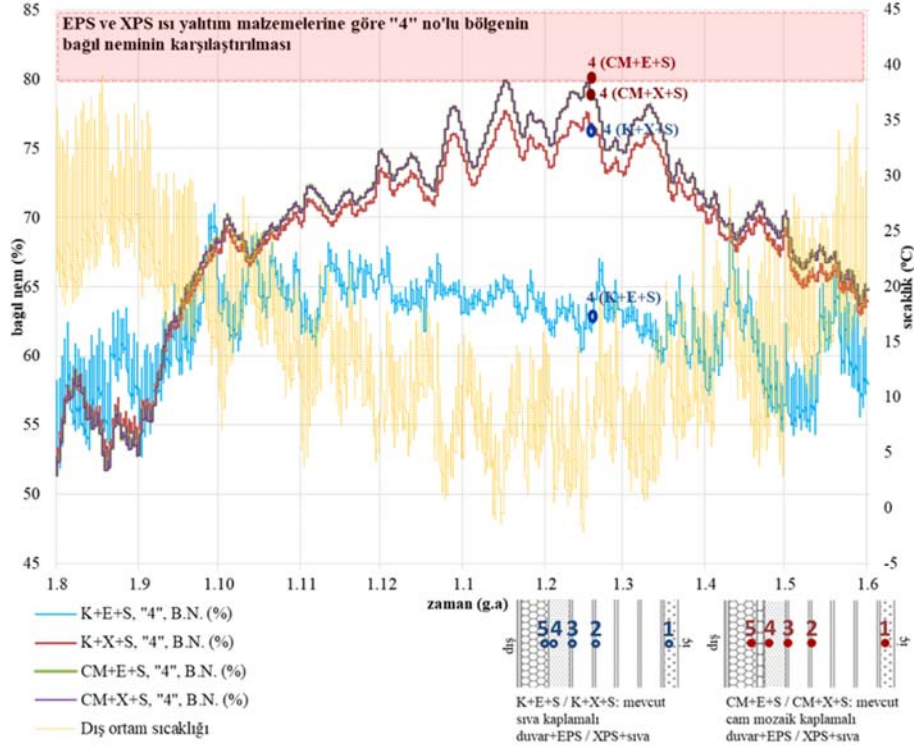
4.2.2. Dış kaplama malzemelerine göre benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi

(Evaluation of the results of simulation according to the external coating materials)

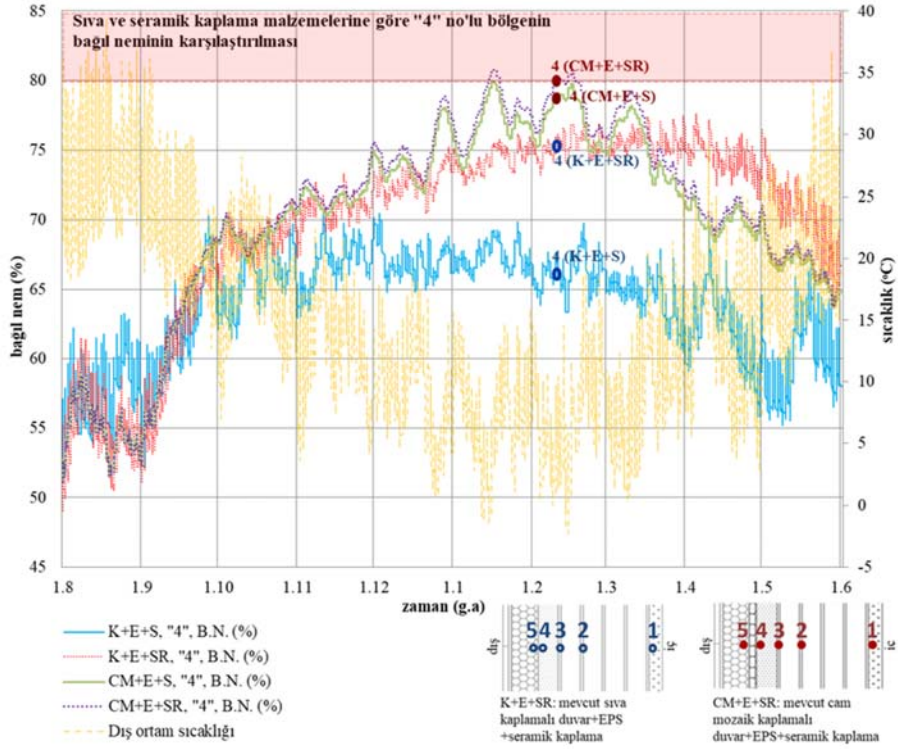
EPS ısı yalıtım levhası ve sıva ya da seramik kaplama uygulaması yapılmış olan mevcut durumda sıva kaplamalı

duvar tipleri (K+E+S ve K+E+SR) ve cam mozaik kaplamalı duvar tiplerindeki (CM+E+S ve CM+E+SR) “4” no’lu bölgenin bağıl nem miktarının Ağustos-Haziran tarihleri arasındaki değişimi Şekil 9’daki grafikte verilmektedir. CM+E+S ve CM+E+SR kodlu duvar tiplerinde cam mozaik kaplamanın iç ortam neminin dışarıya doğru kuruyamayarak dış sıva katmanında birikmesine neden olmasından dolayı, bu iki duvarın kış dönemindeki bağıl nem oranı çok yüksek ve birbirine çok yakındır.

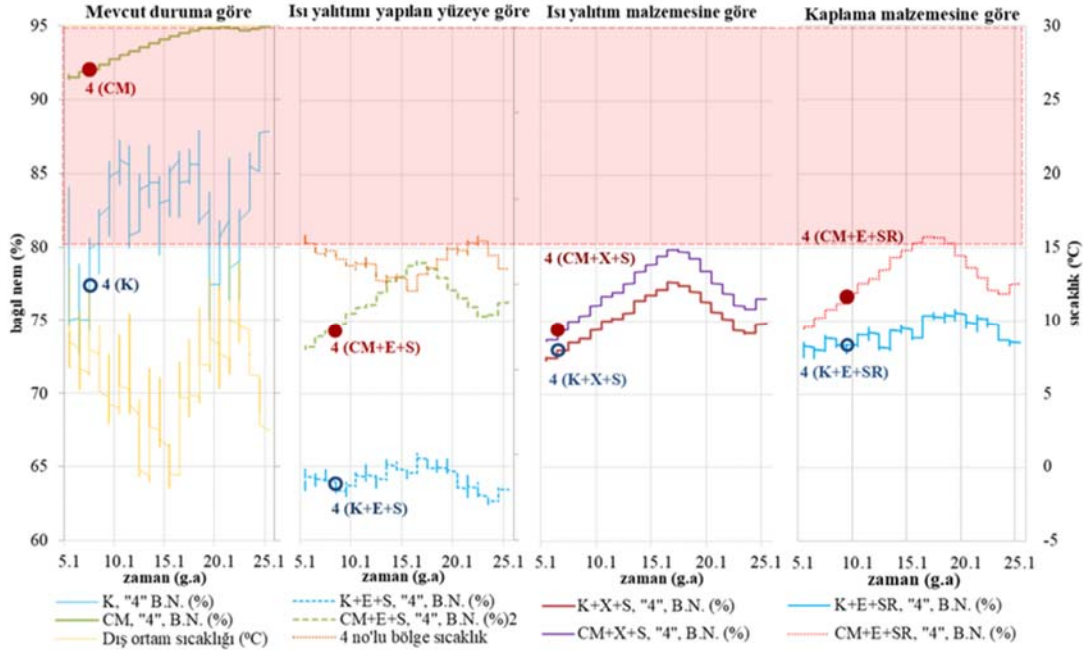
K+E+SR kodlu duvar tipinin “4” no’lu bölgesinin bağıl nem miktarı, K+E+S kodlu duvar tipine göre çok daha yüksektir. Bu katmandaki bağıl nem artışı kış dönemi boyunca devam etmekte ve Mart ayında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Nisan ayından itibaren K+E+SR duvar tipinin “4” no’lu bölgesinin bağıl nemi, grafikteki tüm duvar alternatifleri arasında en yüksek değerleri göstermektedir. Bu durum, K+E+SR duvarında bulunan seramik kaplamanın iç ortamdaki gelen nemi, dışarıya çıkmasını önleyerek, seramik kaplama arkasında bulunan ısı yalıtımı ve dış sıva katmanlarında birikmesine neden olmasıyla açıklanabilir. Bu bölgedeki nem artışı ısı yalıtım malzemesinin uzun dönemde ve mevcut şartlar altındaki dayanımını olumsuz yönde etkileyerek ısı performansının azalmasına neden olabilir ve duvar bünyesinde yoğuşmaya yol açabilir.



Şekil 8. Dıştan EPS ya da XPS ve sıva uygulaması yapılmış duvarlar tiplerinin dış sıva katmanlarının (4 no'lu bölge) bağıl nemi (Relative humidity of the external plaster (4) layer of the walls which are insulated with EPS or XPS and coated with plaster)



Şekil 9. Dıştan EPS ve sıva ya da seramik kaplama uygulaması yapılmış duvar tiplerinin dış sıva katmanlarının (4 no'lu bölge) bağıl nemi (Relative humidity of the external plaster (4) layer of the walls which are insulated with EPS and coated with plaster or ceramic)



Şekil 10. Karşılaştırılan bütün duvar tiplerinin dış sıva katmanlarının (4 no'lu bölge) 5 Ocak-25 Ocak tarihleri arasındaki bağıl nemini (Relative humidity of all wall types which have been compared to each other between the dates of 5 January and 25 January)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu yazıda, sıva kaplamalı ve cam mozaik kaplamalı duvar tiplerinin mevcut yalıtımsız durumdaki ve ısı yalıtımı uygulaması yapıldıktan sonraki durumda ısıl ve nemsel performansları benzetim yöntemiyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılan dört farklı durumda duvar tiplerinin mevcut dış sıva katmanında nem oranının kritik seviyelere ulaştığı 5 Ocak-25 Ocak tarihleri arasındaki sonuçlar Şekil 10'daki grafikte verilmektedir. Bu sonuçlara göre dış hava sıcaklığının $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'in altına düştüğü bu dönemde ısıl ve nemsel performans açısından en riskli durumlar mevcut durumda cam mozaik kaplamalı olan ve mevcut cam mozaik kaplama sökülmeden üzerine ısı yalıtımı uygulaması yapılan duvar tiplerinde görülmektedir.

Mevcut duruma göre, ısı yalıtımı yapılan yüzeye göre, ısı yalıtım malzemesine göre ve dış kaplama malzemesine göre yapılan karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki maddelerde ayrı ayrı değerlendirilmektedir:

- Mevcut durum için yapılan higrotermal performans değerlendirmesine göre; cam mozaik kaplamalı olan duvarların bünyelerinde, yüksek miktardaki iç ortam neminin ve sıcaklık değişimlerinin etkisiyle, donma-çözünme, yoğuşma ve küflenme gibi sorunlar ve bu sorunlara bağlı hasarlar söz konusudur.
- Farklı tüm yüzeylere uygulanan ısı yalıtımının etkisine göre yapılan değerlendirmede; ısı yalıtımı uygulaması sonrası duvar bünyesindeki nem oranının ısı yalıtımı yapılmayan mevcut duruma göre bir miktar azaldığı görülse de, yine de buhar geçirimine izin veren bir duvara göre çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca,

böyle nemli bir duvar iç ortama doğru kuruyacağı için iç ortam konfor koşulları da bu durumdan olumsuz etkilenebilir.

- Farklı ısı yalıtım malzemeleri için yapılan değerlendirmede; buhar difüzyon direnci EPS'ye göre daha yüksek olan XPS'in neme karşı davranışının bina cephesindeki geçirimsiz kaplamalarla benzer olduğu sonucuna varılmıştır. XPS ısı yalıtım malzemesi mevcut durumda sıva kaplamalı olan duvara uygulandığında, iç ortam neminin dışarıya doğru kurumasına izin veremeyerek ısı yalıtım malzemesinin arkasında birikmesi ve bu bölgenin ıslanması riski vardır.
- Farklı son kat kaplama malzemeleri için yapılan değerlendirmede; mevcut durumda sıva kaplamalı olan bir duvara ısı yalıtımı sonrası seramik kaplama uygulanması durumunda, iç ortam neminin dışarıya doğru kuruyamayarak seramik kaplamanın arkasındaki katmanlarda birikeceği görülmüştür. Buna bağlı olarak, uzun dönemde ısı yalıtım malzemesinin ısıl direnç özelliğini kaybetme riski bulunmaktadır. Ayrıca, az sayıda dübelle ve yetersiz harçla duvara tespit edilen ısı yalıtım malzemelerinin ve üzerine uygulanan seramik kaplamalarının uzun süre yüksek nem koşullarına maruz kalması sonucu duvardan koparak ayrılmaya neden olabileceği ön görülmektedir.

Benzetim sonuçlarından yola çıkılarak yapılan genel değerlendirmeye göre, alanda gözlemlenen ısı yalıtım uygulamaları ilk bakışta ekonomik görünse de, uzun dönemde çevresel yararlılık, ısı korunum değeri ve ekonomik yarar açısından istenilen performansı göstermesi tartışmalıdır. Bu nedenle, ısı yalıtımı uygulamalarının uzmanlar tarafından yapılması, binanın özelliklerine ve dış

duvarları oluşturan katmanların bütününe göre çözüm üretilmesi, standartlardaki gerekliliklerin yerine getirilmesi ve uygulamaların etkinliğinin denetlenmesi gerekmektedir.

Isı yalıtımı uygulaması yapılan mevcut duvar yüzeylerindeki bozulmalar, hatta bina yaşına bağlı eskime oranları ve uygulamalardaki işçilik hataları ile teknik yetersizlikler benzetim yazılımında modellenemediğinden hesaplamalarda dikkate alınamamıştır. Ayrıca, yazılım referans bir yıla dayanan iklim verilerini kullandığı için, duvarların referans yıldaki değerlerden daha sert iklim koşullarına maruz kalması halinde ortaya çıkabilecek problemleri hesaplayamamaktadır. İklim verilerinin saatlik ortalama değerlerden oluşmasının da hesaplama sonuçlarının gerçek durumdan farklı olmasına neden olmuş olabileceği düşünülebilir. Bu nedenlerle, yapılan hesaplamaların sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Alandaki hatalı uygulamaların gözlemlenmesi hesaplama sonuçlarının daha doğru yorumlanmasına yardımcı olmuştur.

Dış duvarların higrotermal performansının hesaplandığı benzetim araçları, doğru ve etkin kullanılmak şartıyla, pratikte yapılan iyileştirme uygulamalarının uzun dönem performansının değerlendirilmesinde kullanışlı olabilmektedir. Benzetim alanında yapılan araştırmalarla ve yazılımların güncellenerek eksikliklerinin giderilmesiyle, daha karmaşık modeller üzerinde çalışılabilir ve daha etkin sonuçlar alınabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. BEP, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2008
2. Amaro, B., de Brito, J., Flores Colen, I., Inspection and diagnosis system of ETICS on walls, *Construction and Building Materials*, 47, 1257-1267, 2013.
3. ETAG 004, Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering, EOTA, Brussels, 2013.
4. Malanho, S., Veiga, M. D., Performance of external thermal insulation composite systems (ETICS) with finishing ceramic tiles, XII DBMC - International Conference of Durability of Building Materials and Components, Porto, 2011.
5. Luján, S. V., Arrebola, C.V., Sánchez, A. R., Benito, P. A., Cortina, M. G., Experimental comparative study of the thermal performance of the façade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements, *Sustainable Cities and Society*, 51, 101713, 2019.
6. Silva, J. A., Falorca, J. G., Advances in ETICS behaviour analysis and consequences for planning maintenance, CIB World Building Congress, Cape Town, 2007.
7. Tavares, J., Silva, A., de Brito, J., Computational models applied to the service life prediction of external thermal insulation composite systems (ETICS), *Journal of Building Engineering*, 27, 100944, 2020.
8. Fernandes, C., Brito, J. d., Cruz, C. O., Architectural integration of ETICS in building rehabilitation. *Journal of Building Engineering*, 5, 178-184, 2016.
9. Kalamees, T., Vinha, J., Hygrothermal calculations and laboratory tests on timber-framed wall structures. *Building and Environment*, 38 (5), 689-697, 2003.
10. St-Hilaire, A. T., Derome, D., Comparison of experimental and numerical results of wood-frame wall assemblies wetted by simulated wind-driven rain infiltration, *Energy and Buildings*, 39 (11), 1131-1139, 2007.
11. Fedorik, F., Illikainen, K., HAM and mould growth analysis of a wooden wall, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2 (1), 19-26, 2013.
12. Johansson, P., Geving, S., Hagentoft, C. E., Jelle, B. P., Rognvik, E., Kalagasidis, A. S., Time, B., Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations, *Building and Environment*, 79, 31-45, 2014.
13. Nizovtsev, M. I., Belyi, V. T., Sterlygov, A. N., The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings, *Energy and Buildings*, 75, 60-69, 2014.
14. Finken, G. R., Bjarløv, S. P., Peuhkuri, R. H., Effect of façade impregnation on feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory – A hygrothermal simulation study, *Construction and Building Materials*, 113, 202-214, 2016.
15. Ibrahim, M., Sayegh, H., Bianco, L., Wurtz, E., Hygrothermal performance of novel internal and external super-insulating systems: In-situ experimental study and 1D/2D numerical modeling, *Applied Thermal Engineering*, 150, 1306-1327, 2019.
16. Zilkelbach, D., Holm, A., Künzle, H., Influence of temperature and relative humidity on the durability of mineral wool in ETICS, 10. DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, 2005.
17. Bareira, E., Freitas, V. P., Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS), *Building and Environment*, 63, 31-39, 2013.
18. Pereira, C., de Brito, J., Silvestre, J. D., Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings, *Engineering Failure Analysis*, 90, 103-115, 2018.
19. Lourenço, T., Matias, L., Faria, P., Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography, *Construction and Building Materials*, 148, 419-428, 2017.
20. Xiong, H., Xu, J., Yuan, K., Experimental study on the temperature field of ETICS cladding system with finishing colorful steel plate, *Journal of Building Engineering*, 18, 438-447, 2018.
21. Edis, E., Türkeri, N., Durability of external thermal insulation composite systems in Istanbul Turkey, *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 9 (1), 134-148, 2012.

22. Türkmen, M., Bina kabuğunda ısı yalıtımı uygulamalarının yapısal performansı ve etkinliğinin İstanbul'da bir alan çalışması ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
23. Uygunoğlu, T., Özgüven, S., Çalış, M., Effect of plaster thickness on performance of external thermal insulation cladding systems (ETICS) in buildings, *Construction and Building Materials*, 122, 496-504, 2016.
24. Umaroğulları, F., Mihlayanlar, E., Zorer Gedik, G., Hasan, S., Dış duvarlarda sıcaklık, su ve nem performansının incelenmesi, 1.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 309, İstanbul, 2014.
25. Edis E., Kuş H., Determination of hygrothermal performance of building envelope by computer simulation, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (2), 311-320, 2014.
26. Sarıtabak, E., Bina kabuğunun dış duvarları ve ara kesitlerinde ısı ve nemsel performansın kızılötesi termografi ile değerlendirilmesi üzerine bir alan çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
27. Ekşi, A., Mevcut binaların cephelerindeki dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının İstanbul'da bir alanda araştırılması ve higrotermal performansın benzetimle değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
28. EN 15026, Hygrothermal performance of building components and building elements — Assessment of moisture transfer by numerical simulation, EN - European Standards, 2007.
29. TS 825, Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 2013.
30. ISO 10456, Building materials and products — Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, ISO - International Organization for Standardization, 2007.
31. International Energy Agency, Guidelines&Practices, Energy Conservation in Building And Community Systems Programme Annex XIV: Condensation and Energy, 2, 22, 1990.
32. Sandberg, P.I., Effects of moisture on the thermal performance of insulating materials, *Moisture Control in Buildings : The Key Factor in Mold Prevention*, H. Trechsel, & M. Bomberg, ASTM International, Baltimore, 38-53, 2009.

