

Farklı Duvar Malzemesi ve Yalıtım Uygulamalarının Isıl Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi

Filiz ŞENKAL SEZER^{*1}, Şükran DİLMAÇ²

¹Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa

²ÇEVKAK, İstanbul

Geliş tarihi: 04.07.2014 Kabul tarihi: 27.10.2014

Özet

Bu çalışmada, ılıman iklim şartlarındaki binaların ara kat kirişli döşemelerinin ısı davranışı üzerinde duvar malzemesi ve yalıtımın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kullanım halindeki binalar üzerinde gerçekleştirilen gerçek şartlar altındaki ölçüm değerleri esas alınmıştır. Değerlendirme amacıyla 5 farklı duvar kesiti seçilmiştir. Yalıtımsız tuğla duvar + kiriş, yalıtımsız gaz beton duvar + kiriş, yalıtımsız hafif tuğla duvar + kiriş, çift duvar arası yalıtımlı tuğla duvar + kiriş ve dışarıdan yalıtımlı EPS Katkılı beton blok duvar + kirişten oluşan kesitlerin ısı davranışı, 5 adımda kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu adımlar; tüm ölçüm süresi içindeki genel davranışlar, tüm ölçümlerde duvar ve kiriş sıcaklıkları arasındaki farklar, kesit sıcaklıklarının değişimi, ortam ve yüzeylerde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimi, kiriş seviyesinde iletilen ısı akısıdır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bu 5 farklı duvar kesitinin ara kat kirişli döşemelerin ısı davranışı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı köprüsü, Isı yalıtım etkisi, Isıl davranış, Isı akısı, Yüzey sıcaklığı

Experimental Study on the Effects of Wall Materials and Insulation Conditions on the Thermal Behavior

Abstract

In this study, the effect of location of thermal insulation and the type of wall material on the thermal behavior of mezzanine floor beam-slab element sections of buildings under temperate climate condition was experimentally investigated. Thermal behaviors of mezzanine floor sections comprising of un-insulated brick wall + beam, un-insulated autoclaved aerated concrete wall + beam, un-insulated lightweight brick wall + beam, insulated cavity wall + beam and EPS added concrete block wall with exterior insulation + beam were studied in detail in 5 steps. These steps are general behavior of components within the total measurement time of about one month, differences between wall and beam temperatures in all measurements, variation of section temperatures, variation of minimum, maximum and average temperatures measured in the environment and the surfaces, heat flow through the external surface of beam.

Keywords: Thermal bridges, Thermal insulation effect, Thermal behavior, Heat flow, Surface temperature

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Filiz Şenkal Sezer, *Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, filizss@gmail.com*

1. GİRİŞ

Günümüzde binaların enerji verimliliğinin artırılması ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının azaltılmasında ısı kayıplarının minimumda tutulması oldukça büyük önem taşımaktadır. Yüksek ısı kayıplarının gerçekleştiği alanlar olan ısı köprülerinde ve duvarlarda yanlış malzeme seçimi ve yanlış yalıtım uygulamaları, binaların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının artmasına, ısı kayıplarına, yoğuşmaya, ısı konforun sağlanamamasına ve enerji sarfiyatının artması nedeniyle çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Isı köprüleri ve dış duvarlar binalarda ısı iletiminin yüksek oranda gerçekleştiği bölgelerdir. Bu bölgelerde gerçekleşen ısı iletimi; ısı kayıpları, düşük iç yüzey sıcaklıkları, iç yüzeylerde terleme, yoğuşma, küf oluşumlarına sebep olabilmektedir.

Çalışmada sırasıyla aşağıdaki metodlar izlenmiştir:

Literatür Analizi: Konuyla ilgili ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir.

Deneysel Çalışma: Kullanım halindeki binalar üzerinde gerçekleştirilen gerçek şartlar altındaki ölçüm değerleri esas alınmıştır.

Değerlendirme: Seçilen duvar kesitlerinin (ara kat döşemelerinin) ısı davranışları ölçüm sonuçlarından faydalanılarak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ANALİZİ

Konuyla ilgili olarak incelenen ulusal ve uluslararası çalışmalar aşağıdaki Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Literatür analizi

| Çalışmaların İçeriği: | Literatür Analizi: |
|---|--|
| ISI TRANSFERİ: Isı transferi konusunda nümerik ve analitik+nümerik çözümlerin kullanıldığı yöntem arayışları | • X. Lü, 2002 • E. Nannei, C., Schenone, 1999 • R. K. L. Sripada, D. Angirasa, 2001 • A. Al-Anzia, M. Krarti, 2004 |

| | |
|--|--|
| ISI İLETİMİ: Isı iletimi, buhar iletimi, hava hareketleri ile ilgili problemlerin çözülebildiği paket programlarının; tekrarlanabilirliğinin, doğruluğunun, kullanıcının müdahale edebilmesinin ve sağlanması. Isı köprülerindeki ısı iletiminin modellenmesi. Binalarda dış yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması ve duvarlarda ısı iletimini değiştirecek kesit değişikliklerinin belirlenmesi amacıyla termal kamera kullanılması. Isı iletimi ve ısı köprülerinde gerçekleşen ısı kayıpları üzerindeki bölgesel etkilerin incelenmesi | • B.A. Rock, L.L. Ochs, 2001 • G. Mao, G. Johannesson, 1997 • A. A. Al-Temeemi, D. J. Harris, 2003 • G. Lefebvre, 1997 • S. A. Al-Sanea, 2003 • A. W. M. Van Schijndel, 2003 • A. B. Larbi, 2005 • H. Nimiya, H. Akasaka, S. Obara, K. Itami 1987 • J. Clarke, H. Sussock, 1981 • A.A. Yahia, E. P. Del Barrio, 1999 • K. K. Andersen, H. Madsen, L. H. Hansen, 2000 • E. Grinzato, V. Vavilov, T. Kauppinen, 1998 • M. R. Clark, D. M. McCann, M. C. Forde, 2003 • V. Vavilov, T. Kauppinen, E. Grinzato, 1997 • D. Feuermann, 1989 • S. Coldicutt, T. J. Williamson, R. E. C. Penny, 1991 • Y. A. Matrosov, I. N. Butovsky, K. V. Childs, 1990 • T. Csoknyai, 2001 • J. Boland, 2002 • J. Boland, 1997 |
| FARKLI YAPI ELEMANLARI: Homojen duvarlar dışında hafif çelik strüktürlerin, çok tabakalı duvar elemanlarının, izolasyonlu duvar panellerinin, duvar-kapı | • S. Hassid, 1989 • T. Höglund, H. Burstrand, 1998 • S. Hassid, 1990 • Y. A. Matrosov, I. N. Butovsky, 1989 • H. Schwab, C. Stark, J. Wachtel, H. P. Ebert, |

| | |
|--|---|
| arasında oluşan ısı köprülerinin incelenmesi | J. Fricke, 2005 • K. Fukuyo, 2003 |
| Çalışmaların İçeriği: | Literatür Analizi: |
| PENCERELER: Pencerelerde ısı köprüsü oluşumunun en aza indirilmesi | • A. E. Ben-Nakhi, 2002 • C. Zürcher, 1985 |
| DUVAR BLOKLARI: Duvar örnek için kullanılan blokların oluşturduğu ısı köprülerinde numerik çözümlerin araştırılması | • B. Lacarriere, B. Lartigue, F. Monchoux, 2003 |
| ISI TRANSFERİ: Isı transferi konusunda numerik ve analitik+numerik çözümlerin kullanıldığı yöntem arayışları | • X. Lü, 2002 • E. Nannei, C., Schenone, 1999 • R. K. L. Sripada, D. Angirasa, 2001 • A. Al-Anzia, M. Krarti, 2004 |
| STANDARTLAR: Isı köprüleri ile ilgili büyüklüklerin hesaplanması, Isı köprüleri ile ilgili uluslararası standartlar, ISO 9164’de ısı köprüleri için verilen parametrelerin belirlenmesi ve kullanılması | • ISO 6946/2-1986 • EN ISO 13789-1999 • EN ISO 13370-1998 , • TS EN ISO 10211-1 - 2000 • ISO 10211-2 • Ş. Dılmaç, A. Güner, F., Ş. Sezer, S. Kartal, 2007 • Ş. Dılmaç, Ö. Alamut, 2003, • Ş. Dılmaç, A. Güner, A. Can, G. Kaygusuzoğlu, M. T. Cihan, F., Ş. Sezer, S. Kartal, Ö. Kalpak 2005 |
| ISI KÖPRÜLERİNDE FARKLI YALITIM SİSTEMLERİ: Farklı yalıtım sistemlerinde kırıli betonarme döşeme üzerindeki ısı köprülerinin ısı davranışlarının paket program kullanılarak incelenmesi | • Ş. Dılmaç, A. Can, S. Kartal, 2004 • Ş. Dılmaç, A. Güner, Ö. Alamut, 2004 • Ş. Dılmaç, M. T. Cihan, A. Güner, 2004 • Ş. Dılmaç, A. Can, F. Ş. Sezer, 2004 • T. Cihan, F. Ş. Sezer, Ş. Dılmaç, 2005 • G. Akgün, Ş. Dılmaç, 2005 |

| | |
|---|--|
| PAKET PROGRAMLAR: Paket programlardan çıkan sonuçların tüm binanın ısı performansının detaylı bir şekilde incelendiği geniş kapsamlı paket programlarda kullanılabilirliğinin sağlanması | • F. Deque, F. Ollivier, J. J. Roux, 2001 • J. Kosny, E. Kossecka, 2002 • K. W. Childs, 1988 |
|---|--|

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada; ısı köprülerinin ısı davranışı üzerinde ısı yalıtımının yeri ve duvar malzemesinin etkisi, kullanım halindeki binalar üzerinde gerçekleştirilen gerçek şartlar altındaki ölçüm değerleri esas alınarak incelenmiştir. Ortam sıcaklıkları iç ve dış tarafta aynı doğrultu üzerine gelecek şekilde hem kırı ve hem de duvar önünde alınmıştır (‘Campbell Scientific, Inc.’ marka ve ‘108-L temperature sensor’ model ortam sıcaklık sensörü). Isı akısı kırı üzerinde ve iç yüzeyde ölçülmüştür (Hukseflux marka ve ‘HFP01 Heat Flux Plate’ model ısı akısı sensörü). Bir dakika ara ile alınan ölçümlerin 15 dakika’lık ortalamalarından oluşan veriler, data logger’da depolanmıştır (Campbell Scientific, Inc. marka ve CR200 model). Deneylere başlamadan önce deneme ölçümleri yapılmıştır.

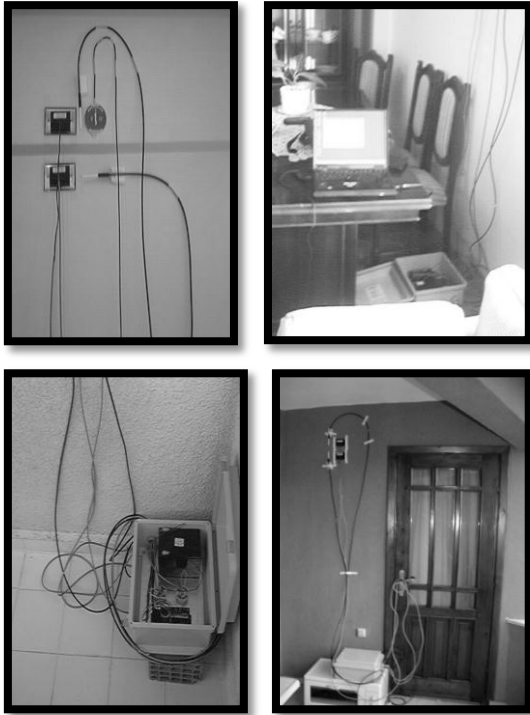
Deneyisel çalışmanın uygulandığı kesitler; yalıtımsız tuğla duvar + kırı, yalıtımsız gazbeton duvar + kırı, yalıtımsız hafif tuğla duvar + kırı, çift duvar arası yalıtımlı tuğla duvar + kırı ve dışarıdan yalıtımlı eps katkılı beton blok duvar + kırı şeklindedir (Şekil 1).

Deneyisel çalışma, aşağıdaki bölümlerde açıklanmakta olan 5 adımda gerçekleştirilmiştir:

1. Tüm ölçüm süresi (yaklaşık bir ay) içindeki genel davranışlar
2. Tüm ölçümlerde duvar ve kırı sıcaklıkları arasındaki farklar
3. Kırı ve duvar seviyelerindeki kesit sıcaklıklarının değişimi

4. Kiriş ve duvar seviyelerindeki ortam ve yüzeylerde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimi

5. Kiriş seviyesinde iletilen ısı akısı değişimi



Şekil 1. Binalarda problemler ve veri depolama birimlerinin yerinde görünüşü

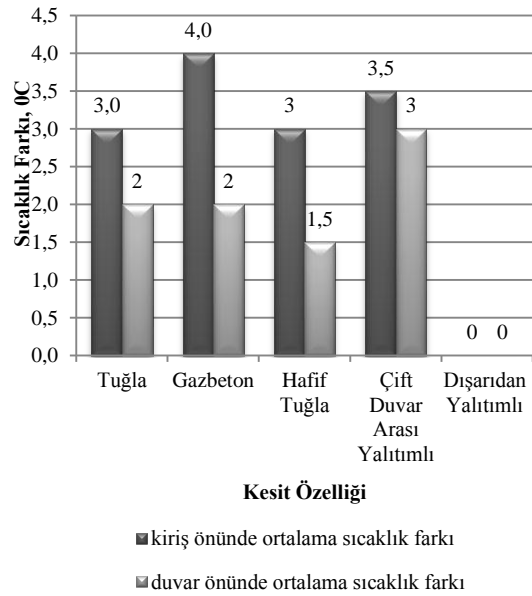
3.1. Tüm Ölçüm Süresi (Yaklaşık Bir Ay) İçindeki Genel Davranışlar

İlk adımda kesitlerin ısıl davranışları tüm ölçüm süresi esas alınarak karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar hem kesit özelliği grubu arasında, hem de tüm kesitler arasında iyiden (1) kötüye (5) doğru sıralanmıştır. Son sütunda her kesitin farklı çizelge sonuçlarına göre sıralaması gösterilmiştir. En düşük numara en iyi ısıl davranış gösteren kesiti, en yüksek numara ise en kötü ısıl davranış gösteren kesiti tanımlamaktadır. Çizelge ve şekillerde kullanılan kısaltmalar aşağıdaki şekildedir:

θ_i : İç ortam sıcaklığı
 θ_{iok} : İç ortam giriş sıcaklığı
 θ_{iod} : İç ortam duvar sıcaklığı
 θ_{iyk} : İç yüzey giriş sıcaklığı
 θ_{iyd} : İç yüzey duvar sıcaklığı

θ_d : Dış ortam sıcaklığı
 θ_{dok} : Dış ortam giriş sıcaklığı
 θ_{dod} : Dış ortam duvar sıcaklığı
 θ_{dyk} : Dış yüzey giriş sıcaklığı
 θ_{dyd} : Dış yüzey duvar sıcaklığı

Ölçüm süresince giriş önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark açısından, sıfır değeri ile dışarıdan yalıtımlı kesit en iyi; 4°C fark ile gazbeton duvarlı kesit en kötü kesit olmaktadır (Çizelge 2). Ölçüm süresince duvar önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark açısından ise yine en iyi kesit sıfır değeri ile dışarıdan yalıtımlı kesit olmakla beraber sıralama değişmekte ve en kötü kesit 3°C ile çift duvar arası yalıtımlı kesit olmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İç yüzey sıcaklığı (θ_{iy}) ile iç ortam sıcaklığı (θ_i) arasındaki farkın değişimi

Çizelge 2. Kesitlerde iç yüzey sıcaklığı (θ_{iy}) ile iç ortam sıcaklığı (θ_i) arasındaki farkın değişimi

| Kesit özelliği | | Ölçüm süresince <u>kiriş</u> önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark, °C | Ölçüm süresince <u>duvar</u> önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark, °C | Değerlendirme sıralaması | |
|----------------|----------------------------|--|--|--------------------------|---------------------|
| | | | | Grup içinde | Tüm kesitler içinde |
| Yalıtımsız | Tuğla | 3 | 2 | (2) | (3) |
| | Gazbeton | 4 | 2 | (3) | (4) |
| | Hafif Tuğla | 3 | 1,5 | (1) | (2) |
| Yalıtımlı | Çift Duvar Arası Yalıtımlı | 3,5 | 3 | (2) | (5) |
| | Dışarıdan Yalıtımlı | 0 | 0 | (1) | (1) |

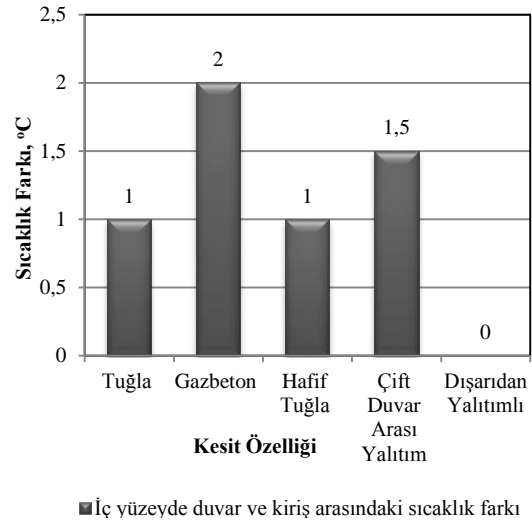
3.2. Tüm Ölçümlerde Duvar ve Kiriş Sıcaklıkları Arasındaki Farklar

İkinci adımda kesitler, duvar ve giriş sıcaklıkları arasındaki fark açısından karşılaştırılmıştır. Kesitlerin karşılaştırmasını yaparken kolaylık sağlaması için şekilleri oluşturan noktalardan doğru geçirilmiş ve Çizelge 3'deki değerlendirmeler bu doğrular üzerinden yapılmıştır.

Isı iletkenlik değeri yüksek olduğu için tüm kesitlerde (5. sütun) betonarme girişlerde yüzey sıcaklıkları (dışarıdan yalıtımlı kesit hariç) duvar yüzey sıcaklıklarından yüksek çıkmaktadır. Dışarıdan yalıtımlı kesitte girişlerin de yalıtılıyor olması, bu değer için iç yüzeyde duvarla eşit olmasını sağlamaktadır (Şekil 3).

3.3. Kiriş ve Duvar Seviyelerindeki Kesit Sıcaklıklarının Değişimi

Üçüncü adımda kesitler, giriş seviyesindeki ve duvar seviyesindeki kesit sıcaklıklarının değişimi açısından karşılaştırılmıştır. (Dışarıdan yalıtımlı kesit haricinde) giriş seviyesinde ortama yüzey sıcaklıkları arasındaki fark, iç ortamda dış



Şekil 3. Ölçüm alınan kesitlerde duvar (θ_d) ve giriş sıcaklıklarının (θ_k) karşılaştırması

ortamdakinden daha büyüktür ($\theta_{iok}-\theta_{iyk}$) > ($\theta_{dyk}-\theta_{dok}$) (Çizelge 4).

Duvar seviyesinde de benzer durum söz konusudur; ($\theta_{iod}-\theta_{iyd}$) > ($\theta_{dyd}-\theta_{dod}$) ancak farklar iç

Çizelge 3. Ölçüm alınan kesitlerde duvar (θ_d) ve giriş sıcaklıklarının (θ_k) karşılaştırması

| Kesit Özelliği | Dış Ortam | İç Ortam | Dış Yüze | İç Yüze | Değerlendirme Sıralaması | | |
|----------------|-------------------------|---------------------|---|---|---|---------------------|-----|
| | | | | | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | |
| Yalıtımsız | Tuğla | Duvar \cong Giriş | Duvar \cong Giriş | Duvar < Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | Duvar > Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | (1) | (2) |
| | Gazbeton | Duvar \cong Giriş | Duvar > Giriş | Duvar < Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | Duvar > Giriş ($\cong 2^\circ\text{C}$) | (1) | (2) |
| | Hafif Tuğla | Duvar < Giriş | Duvar < Giriş | Duvar < Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | Duvar > Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | (1) | (2) |
| Yalıtımlı | Çift Duvar ars. Yalıtım | Duvar < Giriş | Duvar > Giriş ($\cong 1^\circ\text{C}$) | Duvar < Giriş ($\cong 1,5^\circ\text{C}$) | Duvar > Giriş ($\cong 1,5^\circ\text{C}$) | (2) | (2) |
| | Dışarıdan Yalıtımlı | Duvar > Giriş | Duvar = Giriş | Duvar < Giriş | Duvar = Giriş | (1) | (1) |

Çizelge 4. Duvar ve girişlerde ortam ve yüze sıcaklık farklarının karşılaştırması

| Kesit Özelliği | Giriş($^\circ\text{C}$) | | | Duvar ($^\circ\text{C}$) | | | Değerlendirme Sıralaması | | |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|-----|
| | $\theta_{iok}-\theta_{iyk}$ | $\theta_{iyk}-\theta_{dyk}$ | $\theta_{dyk}-\theta_{dok}$ | $\theta_{iod}-\theta_{iyd}$ | $\theta_{iyd}-\theta_{dyd}$ | $\theta_{dyd}-\theta_{od}$ | Grubu içinde | Tüm kesit içinde | |
| Yalıtımsız | Tuğla | 3 | 9 | 2 | 2 | 11 | 1 | (1) | (2) |
| | Gaz Beton | 4 | 10 | 2 | 2 | 13 | 1,5 | (1) | (2) |
| | Hafif Tuğla | 3 | 6 | 2 | 1,5 | 8 | 1,5 | (1) | (2) |
| Yalıtımlı | Çift Duvar Arası Yalıtım | 3,5 | 9 | 3 | 3 | 12 | 1,5 | (2) | (2) |
| | Dışarıdan Yalıtım | 0 | 4,5 | 2 | 0 | 4,5 | 1 | (1) | (1) |

ve dış ortamda birbirine daha yaklaşmıştır. Dışarıdan yalıtımlı kesitte iç ortamda ortamla yüze sıcaklıkları arasındaki fark dışarıdan sürekli yalıtımın olumlu etkisi sonucu ($\theta_{iok}-\theta_{iyk}$) sıfırdır. İç ve dış yüze arasındaki sıcaklık farkları - dışarıdan yalıtımlı kesitte giriş ve duvar seviyesinde de aynıdır. ($4,5^\circ\text{C}$) Diğerlerinde girişlerin yalıtılmamış olması dolayısıyla duvar seviyesinde giriş seviyesinden daha büyüktür ($\theta_{iyd}-\theta_{dyd} > \theta_{iyk}-\theta_{dyk}$) (Şekil 4).

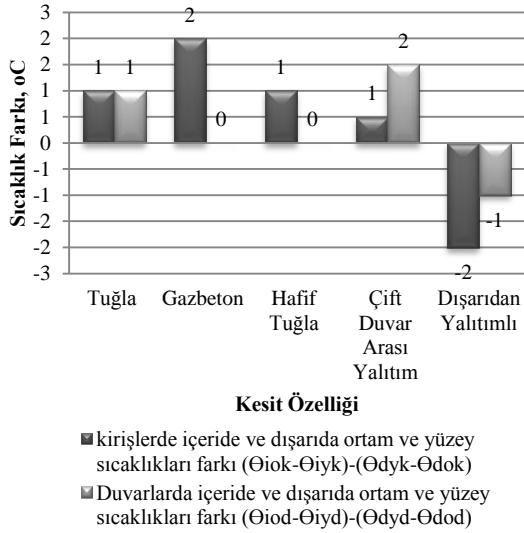
Çizelge 5'de, duvarın yüze sıcaklıkları arasındaki farkın giriş yüze sıcaklıkları arasındaki farktan olan büyüklüğü ($\theta_{iyd}-\theta_{dyd}$)-($\theta_{iyk}-\theta_{dyk}$) karşılaştırılmıştır. Bu fark en fazla gazbeton kesitte görülmektedir. Duvar yüze sıcaklıkları ve giriş yüze sıcaklıkları arasındaki fark açısından yine dışarıdan yalıtımlı kesit en iyi, gazbeton duvarlı kesit ise en kötü olmaktadır. Fark büyüdükçe kesit ısıl konfor açısından daha olumsuz olmaktadır (Şekil 5).

Çizelge 5. Ortamlar arasındaki duvar ve kiriş yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın karşılaştırılması

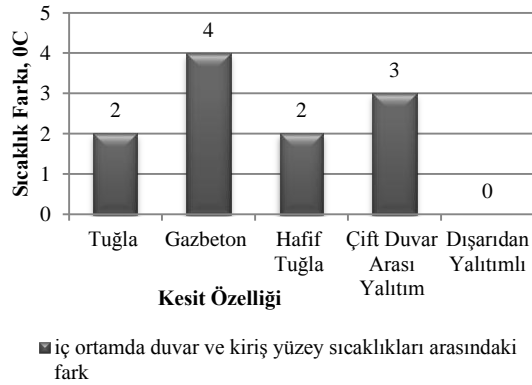
| Kesit özelliği | $(\theta_{iyd}-\theta_{dyd})-$ $(\theta_{iyk}-\theta_{dyk})$ °C | θ_{io} °C | θ_{do} °C | $\theta_{io}-\theta_{do}$ °C | Duvar sıcaklıkları ile kiriş sıcaklıkları arasındaki farkın, ortam sıcaklıkları arasındaki farka oranı | Değerlendirme Sıralaması | | |
|----------------|---|---------------------|---------------------|---------------------------------|--|--------------------------|---------------------|-----|
| | | | | | | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | |
| Yalıtımsız | Tuğla | 2 | 24 | 11 | 13 | 0,15 | (1) | (2) |
| | Gaz beton | 4 | 23,5 | 6,5 | 17 | 0,24 | (3) | (4) |
| | Hafif Tuğla | 2 | 20,5 | 10 | 10,5 | 0,19 | (2) | (3) |
| Yalıtımlı | Çift Duvar Arası Yalıtım | 3 | 21,5 | 5,5 | 16 | 0,19 | (2) | (3) |
| | Dışarı dan Yalıtım | 0 | 18 | 13 | 5 | 0 | (1) | (1) |

Çizelge 6. Kesitlerde duvar ve kiriş seviyelerinde ölçülen ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıkların farklarının karşılaştırılması

| Kesit özelliği | Ort. Sıcaklık °C | Min. Sıcaklık °C | Max. Sıcaklık °C | Değerlendirme Sıralaması | | | |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|-----|-----|
| | | | | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | | |
| Yalıtımsız | Tuğla | $\Delta\theta_{duvar\ ortam}$ | 13,8 | 21,0 | 1,9 | (1) | (2) |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ ortam}$ | 13,8 | 20,7 | 2,4 | | |
| | | $\Delta\theta_{duvar\ yüzey}$ | 10,7 | 18,0 | 0,2 | | |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ yüzey}$ | 8,9 | 15,1 | 0,5 | | |
| | Gazbeton | $\Delta\theta_{duvar\ ortam}$ | 17,1 | 21,7 | 6,5 | (3) | (4) |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ ortam}$ | 16,9 | 21,7 | 8,5 | | |
| | | $\Delta\theta_{duvar\ yüzey}$ | 13,2 | 21,4 | 1,1 | | |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ yüzey}$ | 10,2 | 16,9 | 1,9 | | |
| | Hafif tuğla | $\Delta\theta_{duvar\ ortam}$ | 10,0 | 14,5 | 2,9 | (2) | (3) |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ ortam}$ | 10,4 | 13,8 | 3,7 | | |
| | | $\Delta\theta_{duvar\ yüzey}$ | 8,0 | 11,6 | 2,2 | | |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ yüzey}$ | 6,0 | 8,2 | 1,9 | | |
| Yalıtımlı | Çift duvar Arası Yalıtımlı | $\Delta\theta_{duvar\ ortam}$ | 16,7 | 22,2 | 10,9 | (2) | (5) |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ ortam}$ | 15,5 | 21,5 | 21,5 | | |
| | | $\Delta\theta_{duvar\ yüzey}$ | 12,0 | 8,9 | 8,9 | | |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ yüzey}$ | 8,8 | 15,7 | 6,5 | | |
| | Dışarı dan Yalıtımlı | $\Delta\theta_{duvar\ ortam}$ | 4,4 | 16,0 | -13,0 | (1) | (1) |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ ortam}$ | 4,7 | 16,1 | -10,4 | | |
| | | $\Delta\theta_{duvar\ yüzey}$ | 2,9 | 16,4 | -28,2 | | |
| | | $\Delta\theta_{kiriş\ yüzey}$ | 2,5 | 16,2 | -24,9 | | |



Şekil 4. Duvar ve kirişlerde ortam ve yüzey sıcaklık farklarının karşılaştırması



Şekil 5. Ortamlar arasındaki duvar ve kiriş yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın karşılaştırılması

3.4. Kiriş ve Duvar Seviyelerindeki Ortam ve Yüzeylerde Ölçülen Minimum, Ortalama ve Maksimum Sıcaklıkların Değişimi

Dördüncü adımda kesitler, kiriş ve duvar seviyelerinde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimi açısından karşılaştırılmıştır. Ortamlar arası sıcaklık farkı üzerinde ölçüm seviyesinin yerinin (kiriş veya duvar önünde olması) fazla etkili olmadığı

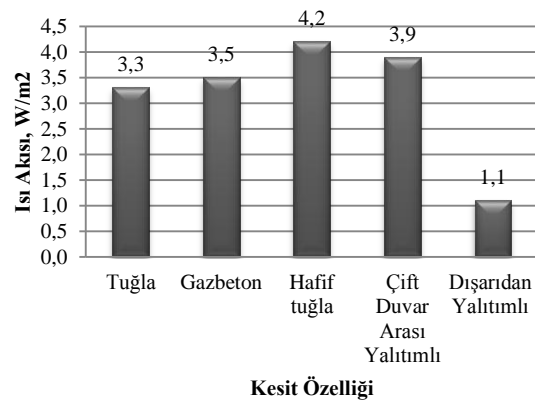
görülmüştür. Her iki durum için de sıcaklık farkı ($\Delta\theta_{\text{duvar ortam}}$ ve $\Delta\theta_{\text{kiriş ortam}}$) hemen hemen aynı çıkmaktadır (Çizelge 6).

Sadece çift duvar arası yalıtımlı kesitte duvar seviyesinde ortamlar arasındaki sıcaklık farkı, kiriş seviyesindeki ortamlar arası sıcaklık farkından $1,2^{\circ}\text{C}$ daha büyük olmaktadır.

Ancak yüzeyler sıcaklık farkları beklendiği şekilde kiriş ve duvar üzerinde ölçülmesine göre ($\Delta\theta_{\text{duvar yüzey}}$ ve $\Delta\theta_{\text{kiriş yüzey}}$) anlamlı fark göstermektedir. Duvar ve kiriş yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının artması kesit içinde farklı ısıl davranışların meydana geldiğini göstermektedir ve istenmeyen durumdur. En olumsuz durum çift duvar arası yalıtımlı kesitte görülmektedir. Duvarın yalıtımlı olmasına karşın kirişte yalıtımın kesilmesi farkın büyümesine sebep olmuştur. En iyi durum dışarıdan yalıtımlı kesitte görülmektedir. Kiriş ve duvar arasındaki fark küçüktür.

3.5. Kiriş Seviyesinde İletilen Isı Akısı Değişimi

Beşinci adımda kesitler, kiriş seviyesinde iletilen ısı akısının değişimi (birim alandan birim zamanda iletilen) ısı enerjisi açısından karşılaştırılmıştır. Kiriş kalınlıkları birbirine yakın olmasına rağmen birim alandan birim zamanda iletilen ısı enerjisi üzerinde dışarıdan yalıtımın etkisi açıkça görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Kesitlerde kiriş seviyesindeki ısı akısının değişimi

Ölçüm alınan kesitlerde kiriş seviyesinde yüzeyler arası sıcaklık farkı başına ortalama ısı akısı açısından yine dışarıdan yalıtımlı kesit en iyi, hafif tuğla duvarlı kesit ise en olumsuz kesit olmuştur (Çizelge 7).

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada farklı duvar malzemesi ve farklı yalıtım durumlarının binanın ısı performansına olan etkisi tespit edilmiştir. Isı iletkenlik katsayıları değerleri birbirlerinden farklı olmasına rağmen, yalıtımsız olmaları durumunda, tuğla, gazbeton ve hafif tuğla malzemelerin ısı davranışları birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Değerlendirme ölçütleri arasında bir özellik için yetersiz olabilen kesit başka bir ölçüt için daha iyi sonuç verebilmektedir. Çift duvar arası yalıtımlı (kiriş yalıtımsız) kesit, duvarlar betonarme iskelet elemanların (kolon-kiriş-döşeme) arasına yerleştirildiği ve betonarme elemanlar yalıtımsız bırakıldığı için; incelenen özelliklerin çoğunda ısı performans açısından en olumsuz kesiti göstermektedir. Duvarların yalıtılmış olması ve duvarın U değerinin yalıtımsız kesitlerden çok daha küçük olmasının getirdiği avantaj, yalıtımın kesilmesi sebebi ile kaybolmakta ve yalıtımsız kesitlerden daha olumsuz ısı davranış göstermektedir. Dışarıdan yalıtımlı kesit ise, duvar ve betonarme elemanlar kesintisiz bir yalıtım ile kaplandığı için, her şartta en iyi ısı davranışı göstermekte ve en olumlu kesit olmaktadır (Çizelge 8).

Çalışmanın deneysel verilere dayanıyor olması binalarda enerji verimliliğine katkı sağlayan ısı yalıtım uygulamaları için güvenilir bir kaynak niteliğindedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler sonucunda uygun malzeme seçimi ve doğru bir yalıtım uygulaması ile binalarda; enerji tüketiminin azaltılması, ısı kayıplarının ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması, ısı konfor şartlarının iyileştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması (Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği - Enerji Kimlik Belgesi) ve çevrenin korunmasına katkı sağlanacaktır.

Konuyla ilgili ülkemizde yürürlüğe konan çeşitli yasa ve yönetmelikler bulunmaktadır. Ancak yasa ve yönetmeliklerin yerine getirilmesi/uygulanması enerjinin verimli kullanımı konusunda sadece destekleyici olacaktır. Ayrıca mimarlık eğitimi sürecinde ve sonrasında da binaların tasarımında ve ısı konfor koşullarının sağlanmasında doğru malzeme seçimi ve doğru yalıtım sisteminin ortaya konması açısından önemli olacaktır.

Bu sayede farklı duvar malzemesi ve farklı yalıtım durumlarının binanın ısı performansına olan etkisi, binalarda gerçek şartların gerektirdiği düzeyde ve ısı kayıplarını minimumda tutacak dış duvar uygulamalarının tespit edilmesi, optimum enerji performansını sağlayacak duvar malzemesi ve yalıtım uygulaması seçimi için veri sağlama imkanı sağlanacaktır.

Buna ek olarak mimarların tasarım aşamasında enerji verimliliğine uygun malzeme seçmesi ve tasarımlarını gerçekleştirirken fiziksel çevre parametreleri ve malzeme ilişkisini dikkate almaları daha başarılı sonuçlar doğuracaktır. Günümüz yaşam koşulları göz önüne alındığında, binaların tasarım aşamasından itibaren “ekoloji” ve “sürdürülebilirlik” kavramlarının ön planda tutulması gerekliliği bilinen bir gerçektir. Dünyada bu konuda artan bilinç ve dünya kaynaklarının hızla tükenmesi ısı kayıplarının minimuma indirgenmesi konusunda motive edici olacaktır. Hızlı kentleşme, enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olmamız dolayısıyla, binalardaki ısı kayıplarını minimuma indirmek zorunlu hale gelmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Akgün, G., Dilmaç, Ş., 2005. Isı Köprüsü Problemlerinde Kullanılan Matematik Modellerin Karşılaştırılması, İTÜ Dergisi /D-Mühendislik Serisi, Cilt:4, Sayı:5, 3-16.
2. Al-Anzia, A., Krarti, M., 2004. Local/Global Analysis of Transient Heat Transfer from Building Foundations, Building and Environment, 39, 495-504.
3. Al-Sanea, S. A., 2003. Finite-Volume Thermal Analysis of Building Roofs Under Two-

Çizelge 7. Kesitlerde giriş seviyesindeki ısı akısının değişimi

| Kesit özelliği | Ortalama ısı akısı, W/m ² | Yüzeyler arası ortalama sıcaklık farkı, °C | Yüzeyler arası sıcaklık farkı başına ortalama ısı akısı, W/m ² | Değerlendirme sıralaması | | |
|----------------|--------------------------------------|--|---|--------------------------|---------------------|-----|
| | | | | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | |
| Yalıtımsız | Tuğla | 30 | 9,0 | 3,3 | (1) | (2) |
| | Gazbeton | 35 | 10,0 | 3,5 | (2) | (3) |
| | Hafif tuğla | 25 | 6,0 | 4,2 | (3) | (5) |
| Yalıtımlı | Çift duvar arası yalıtım | 35 | 9,0 | 3,9 | (2) | (4) |
| | Dışarıdan yalıtımlı | 5 | 4,5 | 1,1 | (1) | (1) |

Çizelge 8. Kesitlerin elde edilen sonuçlara göre değerlendirme sıralaması

| Kesit özelliği | Çizelge 1 girişlerde iç yüzey ve iç ortam sıcaklık farkı | | Çizelge 2. duvar ve giriş sıcaklıklarının karşılaştırılması | | Çizelge 3. duvar ve girişlerde ortam ve yüzey sıcaklık farkı | | Çizelge 4. duvar ve giriş yüzey sıcaklıkları farkı | | Çizelge 5. duvar ve girişlerde ort. min. max. sıcaklık farkları | | Çizelge 6. ısı akısının değişimi | | |
|----------------|--|---------------------|---|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|---|---------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | Grubu içinde | Tüm kesitler içinde | |
| Yalıtımsız | Tuğla | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | Gazbeton | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 |
| | Hafif tuğla | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 5 |
| Yalıtımlı | Çift duvar arası yalıtım | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 5 | 2 | 4 |
| | Dışarıdan yalıtımlı | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

- Dimensional Periodic Conditions, Building and Environment, 38, 1039–1049.
4. Al-Temeemi, A. A., Harris, D. J., 2003. The Effect of Earth-Contact on Heat Transfer Through a Wall in Kuwait, Energy and Buildings, 35, 399-404.
 5. Andersen, K. K., Madsen, H., Hansen, L. H., 2000. Modelling the Heat Dynamics of a Building Using Stochastic Differential Equations, Energy and Buildings, 31, 13-24.
 6. Anon ISO 10211-2: Thermal Bridges in Building Construction-Heat Flows and Surface Temperatures- Part 2: Linear Thermal Bridges, the International Organization for Standardization, Geneva.
 7. Ben-Nakhi, A. E., 2002. Minimizing Thermal Bridging Through Window Systems in Buildings of Hot Regions Applied Thermal Engineering, 22, 989–998.
 8. Childs, K. W., 1988. Analysis of Seven Thermal Bridges Identified in a Commercial Building, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Annual Meeting, Ottawa, INCONNU, 94, 1776-1792.
 9. Cihan, T., Şenkal Sezer, F., Dilmaç, Ş., 2005. Ülkemizdeki Çift Duvar Arası Yalıtım Uygulamalarında Betonarme Kirişlerin Oluşturduğu Isı Köprülerinin Değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:10, 33-47.
 10. Clarke, J., Sussock, H., 1981. “Computer Graphics for Building Energy Analysis Alan Bridges”, Advances in Engineering Software 3(2), 84-88.
 11. Deque, F., Ollivier, F., Roux, J. J., 2001. Effect of 2D Modelling of Thermal Bridges on the Energy Performance of Buildings Numerical Application on the Matisse Apartment”, Energy and Buildings, 33(6), 583-587.
 12. Dilmac, S., Guner, A., Senkal Sezer, F., Kartal, S., 2007. Simple Method for Calculation of Heat Loss Through Floor/Beam-Wall Intersections According to ISO 9164. Energy Conversion and Management, 48(3), 826-835, ISSN: 0196-8904, Pergamon-Elsevier Science Ltd, Oxford, England.
 13. Dilmac, Ş., Güner, A., Can, A., Kaygusuzoğlu, G., Cihan, M. T., Şenkal Sezer, F., Kartal, S., Kalpak, Ö., 2005. Döşemelerde Yanal Isı kayıplarının Hesaplanması İçin Parametrelerin Belirlenmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu , Construction and Environmental Technologies Research Grant Committee, Proje No: İÇTAG – 1242, TÜBİTAK, sf: 1-79.
 14. Dilmaç, Ş., Alamut, Ö., 2003. Comparison of International Thermal Analysis Methods of Thermal Bridges, Proceedings of the First International Energy, Energy and Environment Symposium, İzmir, 781-786.
 15. Dilmaç, Ş., Can, A., Kartal, S., 2004. Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının ve Yalıtım Sistemlerinin Etkisi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:82, 49-64.
 16. Dilmaç, Ş., Can, A., Şenkal Sezer, F., 2004. Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçerden ve Dışarıdan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı:80, 7-20.
 17. Dilmaç, Ş., Cihan, M. T., Güner, A., 2004. Teras Çatıların Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması, Dizayn Konstrüksiyon Dergisi, Sayı:226, 68-77.
 18. Dilmaç, Ş., Güner, A., Alamut, Ö., 2004. Teras Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının Etkisi, Dizayn Konstrüksiyon Dergisi, Sayı:225, 68-83.
 19. Fukuyo, K., 2003. Heat Flow Visualization for Thermal Bridge Problems, International Journal of Refrigeration, 26, 614–617.
 20. Hassid, S., 1990. Thermal Bridges Across Multilayer Walls: An Integral Approach, Building and Environment, 25(2), 143-150.
 21. Hassid, S., 1989. Thermal Bridges in Homogeneous Walls: A Simplified Approach, Building and Environment, , 24(3), 259-264.
 22. Höglund, T., Burstrand, H., 1998. Slotted Steel Studs to Reduce Thermal Bridges in Insulated Walls, Thin-Walled Structures, 32, 81–109.
 23. Kosny, J., Kossecka, E., 2002. Multi-Dimensional Heat Transfer through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs, Energy and Buildings, 34(5), 445-454.

24. Lacarriere, B., Lartigue, B., Monchoux, F., 2003. Numerical Study of Heat Transfer in a Wall of Vertically Perforated Bricks: Influence of Assembly Method, *Energy and Buildings*, 35(3), 229-237.
25. Larbi, A. B., 2005. Statistical Modelling of Heat Transfer for Thermal Bridges of Buildings, *Energy and Buildings*, 37, 945-951.
26. Lefebvre, G., 1997. Modal-Based Simulation of the Thermal Behaviour of a Building: the M2m Software, *Energy and Buildings*, 25, 19-30.
27. Lü, X., 2002. Modelling of Heat and Moisture Transfer in Buildings I. Model Program *Energy and Buildings*, 34 1033-1043.
28. Mao, G., Johannesson, G., 1997. Dynamic Calculation of Thermal Bridges, *Energy and Buildings* 26, 233-240.
29. Nannei, E., Schenone, C., 1999. Thermal Transients in Buildings: Development and Validation of a Numerical Model, *Energy and Buildings*, 29, 209 -215.
30. Nimiya, H., Akasaka, H., Obara, S., Itami., K., 1999. Thermal Analysis of 3-Dimensional Heat Bridges Included in Steel Framed Houses: Method of Making Models and Analysis Examples. 6th International Building Simulation Conference, September 13-15, Kyoto Japan.
31. Rock, B.A., Ochs, L.L., 2001. Slab-on-Grade Heating Load Factors for Wood-Framed Buildings, *Energy and Buildings* 22, 989-998,
32. Salgon, J. J., Neveu, A., 1987. Application of Modal Analysis to Modelling of Thermal Bridges in Buildings, *Energy and Buildings*, 10(2), 109-120.
33. Schwab, H., Stark, C., Wachtel, J., Ebert, H. P., Fricke, J., 2005. Thermal Bridges in Vacuum-Insulated Building Facades, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 28(4), 345-355.
34. Senkal Sezer, F., Cihan, M. T., Dilmac, S., 2010. Experimental Analysis of the Thermal Behaviour of Mezzanine Floors in Buildings with Cavity Wall Insulation, *Scientific Research and Essays*, 5 (14), 1925-1934.
35. Senkal Sezer, F., Dilmac, S., Guner, A., 2010. Experimental Study on the Effects of Wall Materials on the Thermal Behavior of Mezzanine Floors, *World Applied Sciences Journal*, 8(3), 374-381.
36. Sripada, R. K. L., Angirasa, D., 2001. Simultaneous Heat and Mass Transfer by Naturel Convection Above Upward Facing Horizontal Surfaces, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 36, 1019-1029.
37. Şenkal Sezer, F., Cihan, M. T., 2012. Dışarıdan Yalıtımlı Binaların Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:15, Sayı No: 2, 65-72.
37. Van Schijndel, A. W. M., 2003. Modeling and Solving Building Physics Problems with Fem Lab, *Building and Environment*, 38, 319-327.
38. Y. A., Matrosov, I. N., Butovsky, 1989. U.S.S.R. Experience in Thermal Design of Building Envelopes with Improved Thermal Properties, *Energy and Buildings*, 14(1), 31-41.
39. Yahia, A.A., Del Barrio, E. P., 1999. Thermal Systems Modelling Via Singular Value Decomposition: Direct and Modular Approach, *Applied Mathematical Modelling*, 23, 447-468.
40. Zürcher, C., 1985. IR in Building Physics, *Infrared Physics*, 25(1-2), 497-503.