

## DIŞARIDAN YALITIMLI BİNALARIN ARA KAT DÖŞEMELERİNİN ISIL DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

*Filiz ŞENKAL SEZER\**

*M. Timur CİHAN\*\**

**Özet:** Ilıman iklim şartlarında dış ortam sıcaklıklarının değişimi, periyodik rejimden önemli miktarda sapma gösterir. Bu şartlarda yapı elemanının davranışının, kontrollü ortamlarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlardan farklı olması beklenir. Bu çalışmada ılıman iklim şartlarındaki dışarıdan yalıtımlı binaların ara kat kirişli döşemelerinin ısı davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla kullanım halindeki binalar üzerinde gerçekleştirilen gerçek şartlar altındaki ölçüm değerleri esas alınmıştır. Dışarıdan yalıtımlı EPS katkılı beton blok duvar+kiriş'den oluşan duvar kesitinin (ara kat döşemelerinin) ısı davranışı, 2 adımda kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu adımlar; yaklaşık bir ay süren tüm ölçüm süresi içindeki genel davranışlar ve ortam ve yüzeylerde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimidir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı köprüsü, yüzey sıcaklığı, ara kat döşemeler, dışarıdan yalıtım.

### Experimental Investigation of the Thermal Behavior of the Mezzanine Slabs of Externally Insulated Buildings

**Abstract:** Change of exterior environment temperatures show deviation substantially from periodic regime in temperate climate conditions. Under these conditions behavior of construction element is expected to be different from results acquired from experiments made under controlled environments. In this study, thermal behavior of mezzanine floor beam slab of buildings in temperate climate condition, has been reviewed. For this purpose, measuring values which have been realized over buildings in usage, under real conditions, have been taken as a basis. Thermal behaviors of section (mezzanine floor coverings) EPS mixed concrete block wall with outer insulation + beam, have been appraised in 2 steps. These steps are general behaviors in whole measurement time which lasted about one month and change of minimum maximum and average temperature measured in environment and surfaces.

**Key Words:** Thermal bridges, surface temperature, mezzanine slabs, external insulation.

## 1. GİRİŞ

Isı köprüleri, binalarda ortalama ısı geçirgenliğinden daha yüksek ısı geçirgenliğine ve sınırlı alana sahip bölgelerdir. Bu bölgelerde gerçekleşen iki boyutlu ısı iletimi, fazladan ısı kayıpları- düşük iç yüzey sıcaklıkları-iç yüzeylerde terleme- küf oluşumlarına sebep olduğu gibi; binaların ısı konfor ve enerji tüketimi üzerinde de olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu sebeple ısı köprüleri ile ilgili araştırmalar günümüzde birçok makalenin konusunu oluşturmaktadır.

Isı köprüleri ile ilgili uluslararası çalışmaların önemli bir bölümü, bir, iki ve üç boyutlu, zamandan bağımsız veya zamana bağlı olarak meydana gelen ısı iletimi, buhar iletimi, hava hareketleri ile ilgili problemlerin çözülebildiği geniş kapsamlı paket veya ticari olmayan bilgisayar programlarının yapılması üzerinedir.

Değişik kaynaklarda; bunların doğruluğunun, tekrarlanabilirliğinin, kullanıcının müdahale edebilmesinin ve kolay kullanılmasının sağlanması konuları da incelenmektedir [Larbi, A. B. 2005;

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, 16059 Görükle, Bursa.

\*\* Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 59860 Çorlu, Tekirdağ.

Van Schijndel, A. W. M., 2003; Al-Temeemi, A. A., Harris, D. J., 2003; Mao, G., Johannesson, G., 1997; Salgon, J. J., Neveu, A., 1987].

Yapı elemanlarının tekil olarak incelenemediği bu paket programlardan çıkan sonuçların, tüm binanın ısı performansının detaylı bir şekilde incelendiği geniş kapsamlı paket programlarda kullanılabilirliğinin sağlanması üzerinde de durulmaktadır [Deque, F., Ollivier, F., Roux, J. J., 2001; Childs, K. W., 1988].

ISO 9164’de ısı köprüleri için verilen parametreler belirlendiği çalışmalar mevcuttur [Dilmac, Ş., Güner, A., Can, A. ve diğ. 2005]. Homojen duvarlar dışında, hafif çelik strüktürlerin, çok tabakalı duvar elemanlarının, izolasyonlu duvar panellerinin, duvar-kapı arasında oluşan ısı köprülerinin incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır [Hens, H., Janssens, A., Depraetere, W., ve diğ. 2007; Schwab, H., Stark, C., Wachtel, J. ve diğ. 2005; Höglund, T., Burstrand, H., 1998; Hassid, S., 1989; Hassid, S., 1990].

Binalarda dış yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması ve duvarlarda ısı iletimini değiştirecek kesit değişikliklerinin belirlenmesi amacıyla, termal kamera kullanılması ile ilgili çalışmalar da vardır. Isı iletimi ve ısı köprülerinde gerçekleşen ısı kayıpları üzerindeki bölgesel etkiler de incelenmiştir [Vavilov, V., Kauppinen, T., Grinzato, E., 1997; Coldicutt, S., Williamson, T. J., Penny, R. E. C., 1991; Matrosov, Y. A., Butovsky, I. N., Childs, K. V., 1990; Csoknyai, T., 2001].

Isı köprüleri ile ilgili uluslararası standartlar ISO 6946/2-1986, EN ISO 13789-1999 ve EN ISO 13370-1998’dir [Anon ISO 6946/2, 1986; Anon EN ISO 13370, 1998]. Isı köprüleri ile ilgili yükümlüklerin hesaplanması TS EN ISO 10211-1 ve ISO 10211-2 standartlarında açıklanmaktadır [Anon, TS EN ISO 10211-1, 2000; Anon ISO 10211-2, 2001].

Avrupa ve Amerika’da yaygın bir şekilde kullanılmakta olan dışarıdan yalıtım sistemi; yapı fiziği yönünden en uygun sistem olarak kabul edilmektedir ve Türkiye’de son birkaç yıldır daha sık uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistemde yalıtım binayı bir manto gibi sarmakta, soğuk köprü bırakmamaktadır. Böylece sıcaklık değişimlerinden meydana gelecek gerilme ve çatlaklar önlenmekte, havalandırma sayesinde konstrüksiyonun sürekli kuru kalması sağlanmaktadır.

Dışarıdan yalıtım uygulamasının olumlu özellikleri ve avantajları pek çok bilimsel çalışmada ortaya konmuştur. Fakat özellikle ulusal ölçekte, bu konuda yapılan deneysel çalışmaların sayısı yetersiz kalmaktadır. Özellikle ısı köprüleri üzerindeki ısı davranışlarının incelendiği çalışmalar sınırlı sayıdadır [Dilmac, Ş., Güner, A., Can, A. ve diğ. 2005].

Bu çalışmada; dışarıdan yalıtımlı bir binada ara kat kirişli döşemelerinin oluşturduğu ısı köprülerinin ısı davranışı üzerinde deneysel bir araştırma yapılmıştır. Gerçek şartlar altındaki ölçüm değerleri esas alınarak, dışarıdan yalıtımlı EPS katkılı beton blok duvar+kiriş’den oluşan duvar kesitinin ara kat döşemelerinin ısı davranışı 2 adımda kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu adımlar: yaklaşık bir ay süren tüm ölçüm süresi içindeki genel davranışlar ile kiriş ve duvar seviyelerinde ortam ve yüzeylerde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimidir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler sırasında ortam ve yüzey sıcaklıkları, kiriş ve duvar birleşim bölgesinin 5 cm duvar ve 5 cm kiriş yönünde olmak üzere ölçülmüştür. Ortam sıcaklıkları iç ve dış ortamda ‘Campbell Scientific, Inc.’ marka ve ‘108-L temperature sensor’ model ortam sıcaklık sensörü ile yüzey sıcaklıkları da iç ve dış yüzeyde ‘Enercorp’ marka ve ‘TS-PL-R-100 plate temperature sensor’ model yüzey sıcaklık sensörü ile ölçülmüştür. Bir dakika ara ile alınan ölçümlerin 15 dakikalık ortalamalarından oluşan veriler, Campbell Scientific, Inc. marka ve CR200 model data logger’da depolanmıştır.

Ortam sıcaklıkları iç ve dış tarafta aynı doğrultu üzerine gelecek şekilde hem kiriş ve hem de duvar önünde alınmıştır. Yüzey sıcaklıkları da yine iç ve dış tarafta aynı doğrultu üzerine getirilmeye çalışılarak kiriş ve duvar üzerinde ölçülmüştür. Aşağıda ölçüm alınan kesitin, ölçüm tarihleri, binanın bulunduğu yer, ölçümlerin resimleri ve ölçüm değerlerinin grafikleri gösterilmiştir.

Ölçümler, İstanbul’da bir binada 27 Mart tarihinde kaydedilmeye başlanmış ve bir ay sonra 24 Nisan tarihinde sonlandırılmıştır. Alınan ölçümlerle ilgili resimler Şekil 2.1’de, duvar kesiti ise Şekil

2.2’de görülmektedir. Şekil 2.3’te ise dışarıdan yalıtımlı bu binada iç tarafta ve dış tarafta ölçülen yüzey ve ortam sıcaklıklarının değişimi verilmiştir.



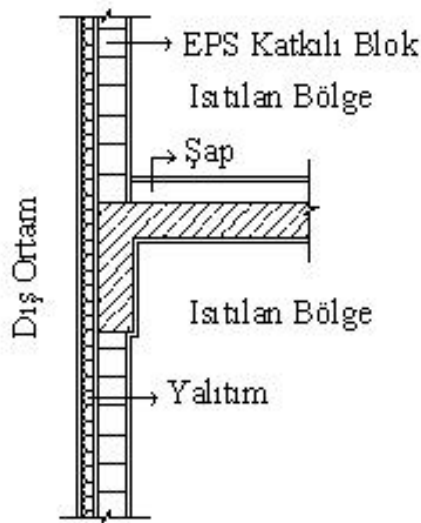
İç taraf



Dış taraf

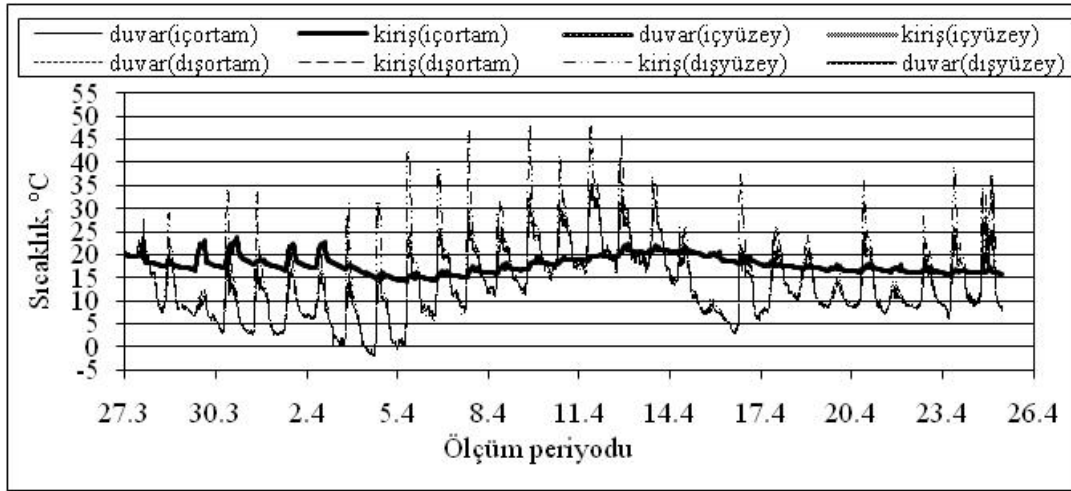
Şekil 2.1:

Deneyin uygulandığı binada problar ve veri depolama birimlerinin yerinde görünüşü



Şekil 2.2:

Ölçüm alınan kesite ait geometrik özellikler



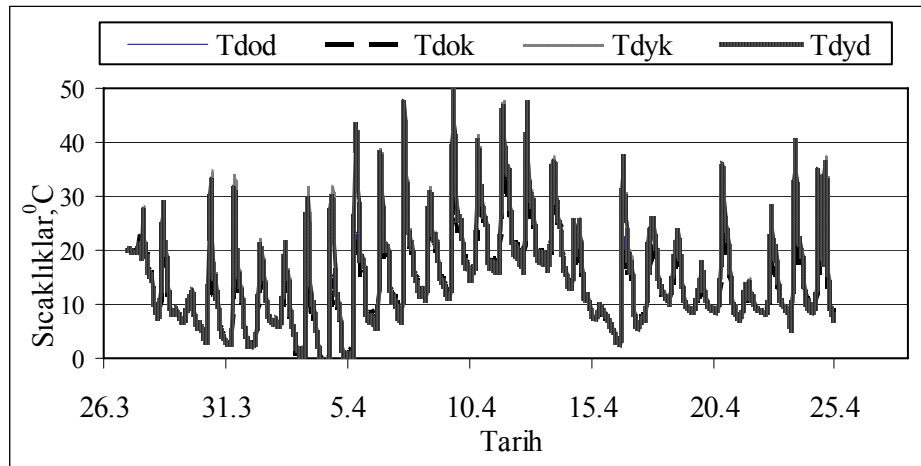
Şekil 2.3:

*İç tarafta ve dış tarafta ölçülen yüzey ve ortam sıcaklıklarının değişimi*

### 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

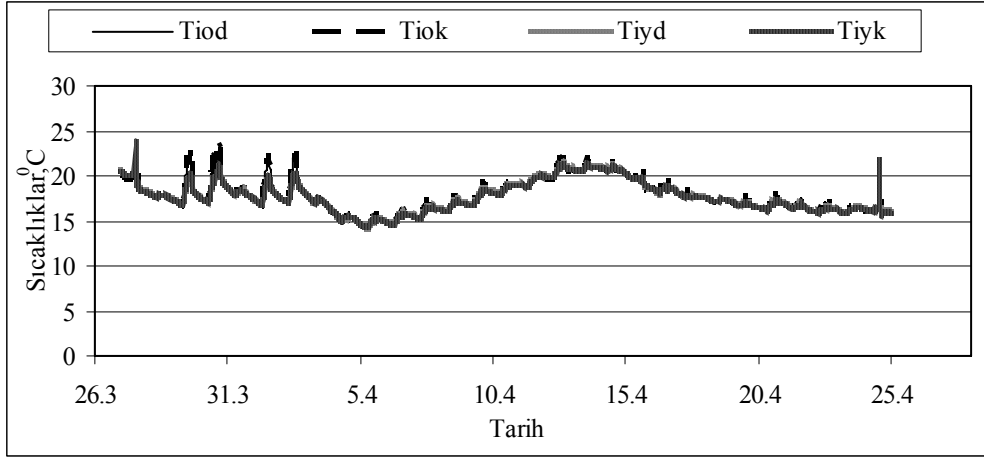
Kesitin ısıl davranışları öncelikle tüm ölçüm süresi esas alınarak karşılaştırılmıştır. Şekil 3.1'de ortam Şekil 3.2'de ise yüzey sıcaklıklarının ölçüm süresince anlık (15 dakikalık ortalama) değişimleri görülmektedir. Ölçüm değerlerinden en küçük kareler metoduna göre geçirilen doğrular da grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 3.1 ve 3.2'de görüldüğü üzere yüzeyden yaklaşık 2 cm uzakta ölçülen ortam sıcaklıklarının giriş veya duvar önünde ölçülmesi ile fark ortaya çıkmamakta; bütün kesitlerde her iki eğri ( $T_{içortam(kiriş)}$  ve  $T_{içortam(duvar)}$ ;  $T_{dışortam(kiriş)}$  ve  $T_{dışortam(duvar)}$ ) çakışmaktadır. Yüzey sıcaklıkları ise beklendiği üzere giriş önünde ve duvar önünde ölçülmesine göre birbirinde farklı değerler almaktadır ( $T_{içyüzey(kiriş)}$  ve  $T_{içyüzey(duvar)}$ ;  $T_{dışyüzey(kiriş)}$  ve  $T_{dışyüzey(duvar)}$ ). Giriş yüzey sıcaklığı ile duvar yüzey sıcaklığı arasındaki fark, bütün kesitlerde iç ortamda dış ortama nazaran daha büyük olmaktadır.



Şekil 3.1:

*Ölçüm alınan kesitlerde dış ortam ve dış yüzey sıcaklıklarının ölçüm süresince anlık (15 dak.) değişimleri*

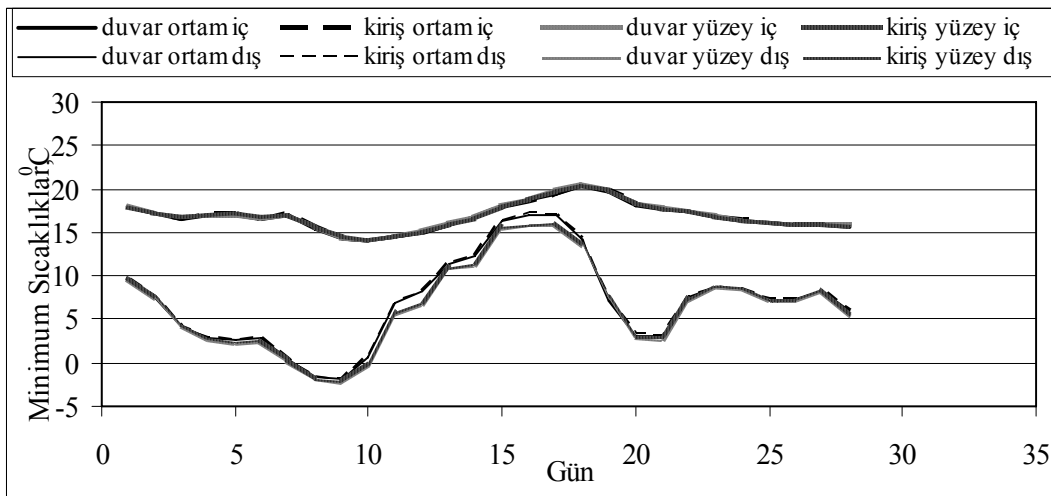


Şekil 3.2.:  
Ölçüm alınan kesitlerde iç ortam ve iç yüzey sıcaklıklarının ölçüm süresince anlık (15 dak.) değişimleri

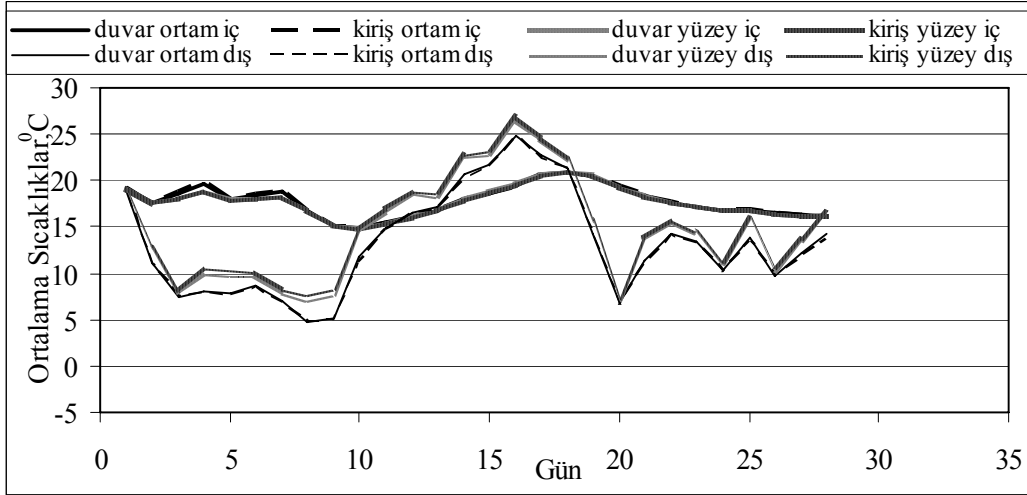
Kesitte iklim şartları gereği dış yüzey sıcaklıkları dış ortam sıcaklıklarının çok üstüne çıkmaktadır. Ölçüm süresince dış ortam sıcaklığı yaklaşık  $-2^{\circ}\text{C}$  ile  $35^{\circ}\text{C}$  arasında dış yüzey sıcaklığı ise  $0^{\circ}\text{C}$  ile  $50^{\circ}\text{C}$  değişmektedir.

Bir periyottaki değişim dış ortam sıcaklıklarında ( $T_{\text{domax}}-T_{\text{domin}}$ ) ilk günlerde  $6^{\circ}\text{C}$  civarında iken, daha sonraki günlerde  $15^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Ölçüm süresince iç ortam, yüzey, duvar ve kiriş sıcaklıkları hemen hemen çakışmaktadır. Ölçüm süresince bütün iç sıcaklıklar  $14^{\circ}\text{C}$  ile  $24^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir. Bir periyottaki değişim ( $T_{\text{iomax}}-T_{\text{ioimin}}$ ) ilk günlerde  $6^{\circ}\text{C}$  civarında iken ölçüm süresinin büyük bir bölümünde  $2^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Ortamlar arasındaki sıcaklık farkı  $5^{\circ}\text{C}$ 'dir. İç ortamda alınan ölçümlerin grafiğine bakıldığında, dış ortamdaki piklerin önemli ölçüde azaldığı ama yine de genel hatların kaybolmadığı görülmektedir.

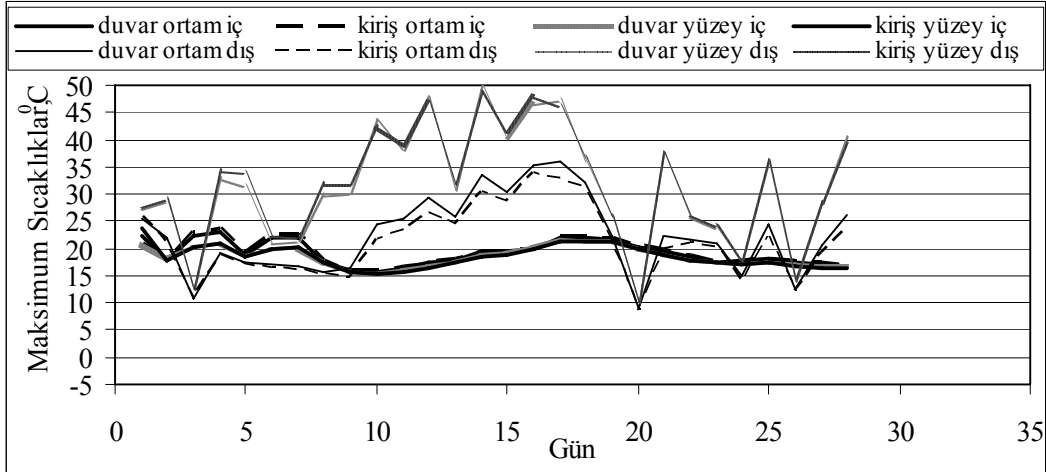
İkinci adımda duvar kesiti, kiriş ve duvar seviyelerinde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların değişimi açısından incelenmiştir. Şekil 3.3'de kesite ait minimum, Şekil 3.4'de ortalama ve Şekil 3.5'de ise maksimum sıcaklıkların günlük değişimi görülmektedir.



Şekil 3.3.:  
Ölçüm alınan kesitlerde minimum sıcaklıkların günlük değişimi



Şekil 3.4:  
Ölçüm alınan kesitlerde ortalama sıcaklıkların günlük değişimi



Şekil 3.5:  
Ölçüm alınan kesitlerde maksimum sıcaklıkların günlük değişimi

Ortalama, minimum ve maksimum değerlerin ortam ve yüzeyler için farkları alındığında elde edilen değerler Tablo 3.1'de görülmektedir. Genellikle ortamlar arası sıcaklık farkı üzerinde ölçüm seviyesinin yeri (kiriş veya duvar önünde olması) fazla etkili değildir. Her iki durum için de sıcaklık farkı ( $\Delta T_{\text{duvar ortam}}$  ve  $\Delta T_{\text{kiriş ortam}}$ ) hemen hemen aynı çıkmaktadır.

Buna karşılık iç ve dış yüzey arasındaki sıcaklık farkları beklendiği şekilde kiriş ve duvar üzerinde ölçülmesine göre ( $\Delta T_{\text{duvar yüzey}}$  ve  $\Delta T_{\text{kiriş yüzey}}$ ) anlamlı fark göstermektedir. Duvar kesiti için  $1^{\circ}\text{C}$  ortamlar arası ortalama sıcaklık farkı başına, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı duvar ve kiriş için hesaplanmıştır (Tablo 3.1). Kiriş ve duvar seviyesinde ortamlar arası sıcaklık farkının değişik olması durumunda, ortamlar arası sıcaklık farkı için kiriş ve duvar seviyesindeki değerlerin ortalaması alınmıştır. Duvarın iç ve dış yüzeyi arasındaki fark, kirişin iç ve dış yüzeyi arasındaki farktan daha büyüktür. Son sütunda bu farklar görülmektedir.

Ortamlar arasında  $1^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı olduğunda duvar ve kiriş yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının birbirinden uzaklaşması kesit içinde farklı ısıl davranışların meydana geldiğinin göstermekte-

dir ve istenmeyen durumdur. Ancak beklendiği üzere dışarıdan yalıtımlı bu kesitte olumlu bir durum söz konusudur ve giriş ve duvar arasındaki fark çok küçüktür.

**Tablo III.I. Ölçüm alınan kesitlerde duvar ve giriş seviyelerinde ölçülen minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıkların farklarının karşılaştırması**

|                                  | Ortalama Sıcaklıklar için | Minimum sıcaklıklar için | Maksimum sıcaklıklar için |  |      |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--|------|
| $\Delta T_{\text{duvar ortam}}$  | 4.4                       | 16.0                     | -13.0                     | $\Delta T_{\text{ortam}}=4.5^{\circ}\text{C}$          |      |
| $\square T_{\text{giriş ortam}}$ | 4.7                       | 16.1                     | -10.4                     |  |      |
| $\square T_{\text{duvar yüzey}}$ | 2.9                       | 16.4                     | -28.2                     | $\Delta T_{\text{yüzey}}/\Delta T_{\text{ortam}} 0.63$ | 0.09 |
| $\square T_{\text{giriş yüzey}}$ | 2.5                       | 16.2                     | -24.9                     | $\Delta T_{\text{yüzey}}/\Delta T_{\text{ortam}} 0.54$ |      |

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dışarıdan yalıtımlı EPS katkılı beton blok duvar+kiriş'ten oluşan duvar kesitinin ara kat döşemelerdeki ısıl davranışları, deneysel ölçüm sonuçlarından faydalanılarak değerlendirilmiştir. Yüzeyden yaklaşık 2 cm uzakta ölçülen ortam sıcaklıklarının giriş veya duvar önünde ölçülmesi ile fark ortaya çıkmamaktadır. Yüzey sıcaklıkları ise beklenildiği üzere giriş önünde ve duvar önünde ölçülmesine göre birbirinde farklı değerler almaktadır. Giriş yüzey sıcaklığı ile duvar yüzey sıcaklığı arasındaki fark, iç ortamda dış ortama nazaran daha büyük olmaktadır.

Ölçüm süresince iç yüzeydeki sıcaklık değişim aralığının, dış yüzeydeki sıcaklık değişim aralığına oranı, küçük bir değere sahiptir. İç ortamda dış ortamdaki değişimin %20'si görülmektedir. Ölçüm süresince giriş önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark açısından değerlendirildiğinde, sıfır değeri ile kesit oldukça iyi sonuç vermektedir. Aynı şekilde ölçüm süresince duvar önünde iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları arasındaki ortalama fark açısından da yine sıfır değeri ile olumlu bir sonuç ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.1 – Şekil 3.2).

Belirlenen ortamlar arası sıcaklık farkı duvar seviyesi ile giriş seviyesinde çok az fark etmektedir. Yüzeyler arası sıcaklık farkları ise duvar seviyesi ile giriş seviyesinde anlamlı düzeyde farklı olmaktadır (Tablo 3.1). Duvarın iç ve dış yüzeyi arasındaki fark, girişin iç ve dış yüzeyi arasındaki farktan daha büyüktür. Duvar ve giriş yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının birbirinden uzaklaşması kesit içinde farklı ısıl davranışların meydana geldiğini göstermektedir ve istenmeyen durumdur. Beklendiği üzere kesitte olumlu sonuçlar görülmektedir (Tablo 3.1).

Duvarların yalıtılmış olması ve duvarın U değerinin yalıtımsız kesitlerden çok daha küçük olmasının getirdiği avantajla birlikte, dışarıdan yalıtımlı kesit duvar ve betonarme elemanları kesintisiz bir yalıtım ile kapladığı için, olumlu ısıl davranışı göstermektedir.

Tüm bunlara ilave olarak, ısı köprülerini engellediği gibi binalarda dış yüzeyden yalıtım uygulaması sonucunda, sıcaklık farklılıkları sebebiyle oluşan ısıl gerilmeler minimuma inmekte ve buna bağlı olarak duvar bünyesinde yapı bozulmalarının ve çatlakların oluşumu engellenmektedir. Ayrıca kış mevsiminde oluşabilecek donma noktası, yalıtım tabakası içinde gerçekleştiğinden dolayı duvar iç yüzeyindeki nemsel olayların oluşumu en alt düzeyde olmaktadır. Bu nedenle dışarıdan yalıtımlı duvar kesiti en olumlu kesit olmaktadır.

#### BİLGİ

Bu çalışma TÜBİTAK-İÇTAG 1242 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Al-Temeemi, A. A., Harris, D. J. (2003) The effect of earth-contact on heat transfer through a wall in Kuwait, Energy and Buildings, sayı: 35, 399-404

2. Anon ISO 10211-2 (2001): Thermal bridges in building construction – heat flows and surface temperatures – Part 2: Linear thermal bridges, the international organization for standardization, Geneva.
3. Anon, EN ISO 13370 (1998): Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – calculation methods –European Committee for Standardization, Brussels.
4. Anon, ISO 6946/2 (1986): Thermal insulation – Calculation methods – Part 2: Thermal bridges of rectangular sections in plane structures –International Organisation for Standards, Geneva.
5. Anon, TS EN ISO 10211-1 (2000): Bina inşaatlarında ısı köprüleri – ısı akışları ve yüzey sıcaklıkları – Bölüm 1: Genel hesaplama metotları –/ Thermal bridges in building construction – heat flows and surface temperatures – Part 1: General calculation methods, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
6. 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, sayı: 94, 1776-1792
7. Coldicutt, S., Williamson, T. J., Penny, R. E. C. (1991) Attitudes and compromises affecting design for thermal performance of housing in Australia, Environment International, sayı: 17(4), 251-261
8. Csoknyai, T. (2001) Surface Temperature a Thermal Bridges, Journal of Thermal Envelope and Building Science, sayı: 25(1), 67-81
9. 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, sayı: 33(6), 583-587
10. Dilmac, Ş. Güner, A. Can, A. Kaygusuzoğlu G., Cihan, M. T. Şenkal Sezer F., Kartal, S. Ö. Kalpak (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, 1-79
11. Hassid, S. (1990) Thermal bridges across multilayer walls: An integral approach, Building and Environment, sayı: 25(2), 143-150
12. Hassid, S. (1989) Thermal bridges in homogeneous walls: A simplified approach, Building and Environment, sayı: 24(3), 259-264
13. Hens, H., Janssens, A., Depraetere, W., Carmeliet, J. Lecompte, J. (2007) Brick cavity walls: a performance analysis based on measurements and simulations, Journal of Building Physics, sayı: 31(2), 95-124.
14. Höglund, T. Burstrand, H. (1998) Slotted steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls, Thin-Walled Structures, sayı: 32, 81–109
15. Larbi, A. B. (2005) Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings, Energy and Buildings, sayı: 37, 945-951
16. Mao, G., Johannesson, G. (1997) Dynamic calculation of thermal bridges, Energy and Buildings, sayı: 26, 233-240
17. Matrosov, Y. A., Butovsky, I. N., Childs, K. V., (1990) Results of comparing solutions of calculation problems of enclosing structures with thermal bridges by Soviet and American methods, Energy and Buildings, sayı: 14(4), 303-311
18. Salgon, Neveu J. J. A. (1987) Application of modal analysis to modelling of thermal bridges in buildings, Energy and Buildings, sayı: 10(2), 109-120
19. 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, sayı: 28(4), 345-355
20. Van Schijndel, A. W. M. (2003) Modeling and solving building physics problems with FemLab, Building and Environment, sayı: 38, 319-327
21. Vavilov, V., Kauppinen, T., Grinzato, E. (1997) Thermal characterization of defects in building envelopes using long square pulse and slow thermal wave techniques, Research in nondestructive evaluation ISSN 0934-9847, sayı: 9(4), 181-200