

# TÜRKİYE'DEKİ ÇİFT DUVAR ARASI ISI YALITIM UYGULAMALARINDA ISI KÖPRÜLERİNİN ANALİZİ VE YURTDIŞI UYGULAMALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

*Filiz ŞENKAL SEZER\**  
*Nermin KARAGÖZ YEŞİLYURT\**

**Özet:** Bu çalışmada; Türkiye ile Avrupa ülkelerinde uygulanan çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarının betonarme yüzeyler (ısı köprüleri) açısından analizi yapılacaktır. Bu amaçla; çalışma alanı olarak Bursa ilinin Nilüfer ilçesinde bulunan bir site ele alınmıştır. Site bloklarında çift duvar arası yalıtım sistemi kullanılmıştır. Seçilen örnek yapının ısı köprüleri bölgelerinin U değeri hesaplanmış, ısı akım ve buhar difüzyon diyagramları çizilmiştir. Daha sonra aynı yapı elemanları kullanılarak, örnek duvar kesiti yurtdışında uygulanan farklı ısı köprüsü detaylarına uyarlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Çıkan sonuçların U değerleri, ısı akım diyagramları ve yoğunlaşma ile buharlaşma durumları incelenmiş ve optimum çift duvar arası yalıtım detayı tanımlanmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı köprüsü, çift duvar arası yalıtım, yoğunlaşma

## The Comparative Analysis of Thermal Bridges in Cavity Walls Applications in Turkey and in European Countries

**Abstract:** Within the scope of this study, the cavity walls applications in Turkey and European countries are analyzed for the purposes of reinforced concrete thermal bridges. Based on this purpose, in this study, a residential area which is located in Ataevler district in Nilüfer Province has been chosen. In this residential area, cavity walls system were used as the main insulation system in the building blocks. U values of thermal bridges in the selected examples of the building blocks were calculated, and were graphed heat flow and condensation diagrams. After all, another analysis of the same building components which are adopted to international cavity walls applications are prepared. In the outcome of the study, U values, heat flow and condensation diagrams for the chosen building blocks are described and optimum detail for cavity walls for them is defined.

**Keywords:** thermal bridge, heat insulation, cavity walls

## 1. GİRİŞ

Yapı kabuğu üzerinde yer alan betonarme kolon ve kirişler, hatıllar, lentolar, döşeme alınları gibi yapı elemanları kabuğun tuğla, gazbeton gibi duvar ögesinden daha yüksek ısı iletkenliğine sahip oldukları için ısı köprüsü olarak çalışmaktadırlar. Bunlar ısının soğuk tarafa aktığı köprülerdir. Isı köprüleri, yapı kabuğunda öngörülen ısı ve nem korunumunun uygulanması sırasında sürekliliğin korunmadığı, yani ısı ve nem korunumu açısından zayıf kesimler olduklarından dolayı yerine göre ısı ya da nem köprüleri olarak da tanımlanmaktadırlar. Isı köprüleri genel olarak iklimsel değişkenlerin yapı içi değişkenler üzerindeki etkilerini artırarak yapı içi ısısal konforu olumsuz yönde etkilemektedirler. Nemsel olaylara neden olarak yapı sağlığını bozmakta ve ısı enerjisi tüketimini artırarak enerji sorununu meydana getirmektedirler.

Yapı kabuğunun ısı geçirgenlik direnci arttıkça iç yüzey sıcaklığı da artmaktadır. Isı köprüleri ısı geçirgenlik direncini azaltarak yüzey sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürmektedirler. Dolayısıyla yüzey sıcaklığı ile iç ortam hava sıcaklığı arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır.

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

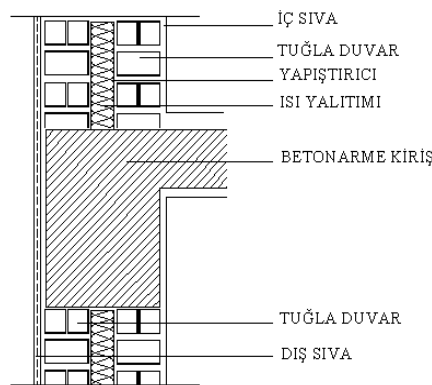
Kış aylarında iç yüzey sıcaklıklarında düşmeler, yaz aylarında ise artışlar görülmektedir. Yüzey sıcaklıklarını optimum bir düzeyde tutmak hem ısıl konforu sağlamakta hem de yüzeylerde yoğuşmanın oluşmasını engellemektedir.

Yapının dış duvarlarına içten yalıtım veya sandviç duvar yalıtımı uygulanması durumunda, ısı köprülerinin yalıtımı iki farklı sistem ile sağlanabilmektedir. Bunlardan ilki; yalıtım katmanının beton yüzeylerin kalıp içlerine uygulandığı sistemdir. Bu uygulamada; kolon, giriş, döşeme alnı gibi yapı elemanlarının beton döküm işlemlerinden önce yalıtım levhaları, kalıp boyutlarına uygun ölçülere getirilmekte ve levha birleşimlerinde boşluk kalmayacak şekilde kalıp içine yerleştirilmektedir. Kalıp içindeki plastik ayırıcılar, basınca dayanıklı olan yalıtım levhalarına zarar vermeyerek donatı demirlerinin gerekli beton kalınlığıyla muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Isı yalıtım levhaları, özel hücre yapıları, pürüzlü ve oluklu yüzeyleri sayesinde dökülen betonla iyi bir tutunma gerçekleştirmektedir. Betonun prizini tamamlaması ve yalıtım levhaları ile aderansının sağlanmasından sonra kalıplar sökülmemektedir ve duvar örme işlemi yapılmaktadır. Ancak duvar bloklarının dış yüzeylerinin yalıtım levhalarının dış yüzeyleri ile aynı hizada olması gerekmektedir.

Isı köprülerinin yalıtımında uygulanan bir diğer sistem, yalıtım katmanının kolon, giriş veya döşeme alınlarına sonradan tespiti şeklindedir. Uygulaması şu şekildedir: Yalıtım levhaları kolon, giriş, çıkmalar veya lento ölçülerine uyacak şekilde boyutlandırılmaktadır. Yüzeylerin düzgünlüğüne uygun olarak, yapıştırma harcı levhaların kenarlarına sürekli, orta eksen boyunca 2-3 öbek yerleştirilerek veya taraklama yöntemiyle uygulanarak levhalar yapıştırılmaktadır. Yapıştırılan levhalar dübel ile tespit edilmektedir. Tespit işleminin duvar örme işleminden önce yapılması durumunda, duvar bloklarının dış yüzeylerinin, levha dış yüzeyleri ile aynı hizada olması gerekmektedir. Duvar bloklarının tespit işleminden önce örülmeleri durumunda ise duvarın kolon-giriş yüzeyinden, uygulanacak yalıtım levhasının kalınlığı kadar dışa taşacak şekilde örülmesi gerekmektedir. Yalıtılmış yüzeylerin sıvanmasından önce yüzey temizlenmektedir. Sıva olarak cam tülü file taşıyıcılı ince sıva sistemleri veya nokta kaynaklı galvaniz çelik donatı telli kalın sıva sistemleri uygulanmaktadır. Sıva donatısının doğru uygulanması yüzeylerde çatlak oluşma riskinin en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

## 2. ÖRNEK BİNAYA AİT ISI KÖPRÜLERİNİN ANALİZİ

Bu çalışmada; Türkiye ile Avrupa ülkelerinde uygulanan çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarının betonarme yüzeyler (ısı köprüleri) açısından analizi yapılmaktadır. Bu amaçla; çalışma alanı olarak Bursa ilinin Nilüfer ilçesinde bulunan bir site ele alınmıştır. Site bloklarında çift duvar arası yalıtım sistemi kullanılmıştır.



**Şekil 1:**  
*Örnek binanın dış duvarlarına ait ısı köprüsü detayı*

Seçilen örnek binada uygulanan çift duvar arası yalıtım (sandviç duvar) sisteminde; 8,5 cm kalınlığında iki tuğla duvar arasına yalıtım malzemesi olarak 3 cm kalınlığında polistren sert köpük levhalar uygulanmıştır. Böylece dış duvarlar yalıtılarak korunmaya alınmış ancak betonarme yüzeylerin boş bırakılması, bu alanda ısı köprüleri oluşumuna neden olmuştur (Şekil 1).

Ülkemizde binalarda ısı konforun sağlanmasına yönelik standart, TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardıdır. Türkiye’de 1981 yılında yürürlükte bulunan TS 825 standardı, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla 1998 yılında yeniden düzenlenmiş, 14.06.1999 gün ve 23725 sayılı resmi gazetede yayımlanmış, 14.06.2000 tarihinden itibaren de zorunlu standart olarak, yeni yapılacak binalarda uygulanmaya başlamıştır. Mevcut binalarda herhangi bir yasal uygulamaya gidilmemiştir. Ancak bu tarihten itibaren uygulanan tüm yapıların ısı yalıtım hesaplarında, bu standarttaki kuralların baz alınması zorunlu kılınmıştır. 2003 yılından itibaren devam eden revizyon çalışmalarının tamamlanması ile birlikte, Mayıs 2008’de TSE tarafından yayımlanmış yeni TS 825 standardı binaların ısı kayıp hesaplamalarına en son düzenlemeleri getirmiştir. Bu düzenleme ile binalarda daha az ısı kaybına müsaade edilmekte, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı azaltılmaktadır. Genel olarak bakıldığında uygulama alanının kapsamı aynı kalmış, şeklen birkaç değişiklik yapılmıştır. Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri ve daha etkin yoğunlaşma hesaplamaları için iller bazında aylık ortalama bağıl nem oranları verilmiştir. Standarttaki en önemli değişikliklerden biri yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri ( $\lambda h$ ) ve su buharı difüzyon direnç faktörü ( $\mu$ ) değerlerinin bütünüyle güncellenmiş olmasıdır.

Bu çalışmada; Türkiye Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği’nin (İZODER) hazırladığı “TS 825 Isı Yalıtım Hesabı” programından faydalanılmıştır. Programda öncelikle yapı ile ilgili bilgi girişleri yapılmakta, ısı geçirgenlik katsayısı değerleri tespit edilmekte, yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, yoğunlaşma hesapları ve grafikleri elde edilmektedir.

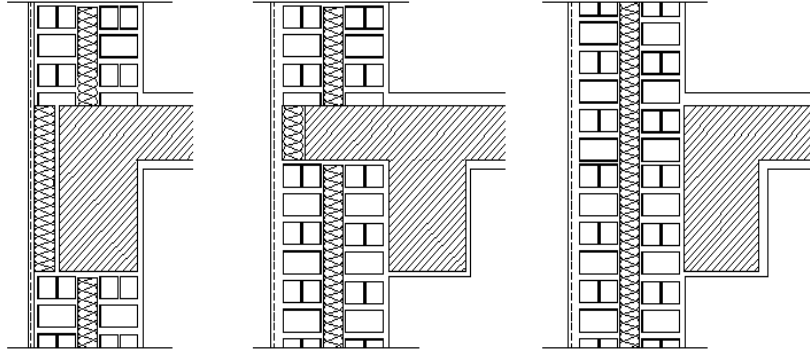
Tablo 1’de örnek binanın dış duvarlarına ait ısı köprüleri bölgesinin hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri), ısı akısı (q) ve difüzyona eşdeğer hava tabakası kalınlığı ( $\Sigma Sd$ ) verilmektedir. Bu tablodan;  $T_i=20^{\circ}\text{C}$  iken  $T_{iy}=9,08^{\circ}\text{C}$  olduğu; iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın  $3^{\circ}\text{C}$ ’yi aştığı görülmüştür. Kesitin iç yüzeyinde yoğunlaşma gerçekleşmektedir (Şekil 5a). Bu durumda bu yapıda uygun bir ısı konfordan bahsetmek mümkün olmamaktadır ve bu detayın yapı fiziği açısından uygun sonuçlar vermediği görülmektedir.

**Tablo 1. Örnek binaya ait ısı köprüleri bölgesinin U değeri**

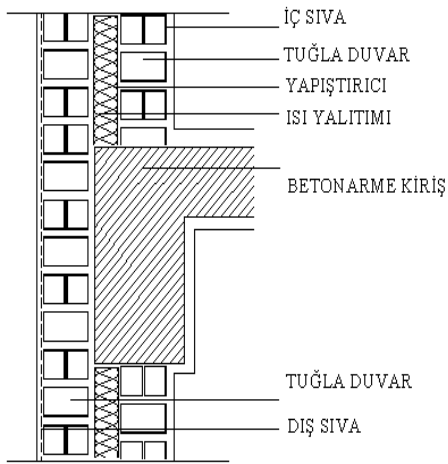
TABAKA	Tabaka Kalınlığı d(m)	Su buharı difüzyon katsayısı $\mu$	Difüzyon Dengi hava Tabaka kalınlığı Sd (m)	Isı iletkenlik Hesap değeri $\lambda h$ (W/mK)	Yüzeysel ısı İletim direnci $d/\lambda h, 1/\alpha$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )	Sıcaklık T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Doymuş su buharı basıncı Ps (Pa)
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (İç)	-	-	-	-	0,13	20	2340
İç siva (kireç-çimento harcı)	0,02	15	0,3	0,87	0,023	9,08	1155,55
Donatılı normal beton (TS 500’e uygun)	0,3	70	21	2,1	0,143	7,15	1013,39
Dış siva(çimento harcı)	0,03	15	0,45	1,4	0,021	-4,87	406,36
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (Dış)	-	-	-	-	0,04	-6,63	349,22
$\Sigma Sd= 21,75 \text{ m}$				$U= 2,801 \text{ W/m}^2\text{K}$		$q= 84,03 \text{ W/m}^2$	
						-10	260

Türkiye’deki çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarında, çoğunlukla betonarme yüzeyler yalıtılmamaktadır. Betonarme yüzeylerdeki ısı köprülerinin oluşumunu engellemek, yapının dıştan yalıtılmasıyla (mantolama) mümkün olmaktadır. Çift duvar arası ısı yalıtımı uygulanan yapılarda, ısı köprülerini önlemek amacıyla betonarme yüzeylerin ayrıca yalıtılması gerekmektedir.

Bu gibi durumlarda Şekil 2’de verilen farklı çözümler önerilebilmektedir. Bu öneriler yanında Avrupa’nın bazı ülkelerinde uygulanan, betonarme yüzeylerin de yalıtıldığı çift duvar arası ısı yalıtım detayları da örnek olarak verilebilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4’deki detaylar, yurtdışındaki ısı köprüleri yalıtım uygulamalarını göstermektedir.

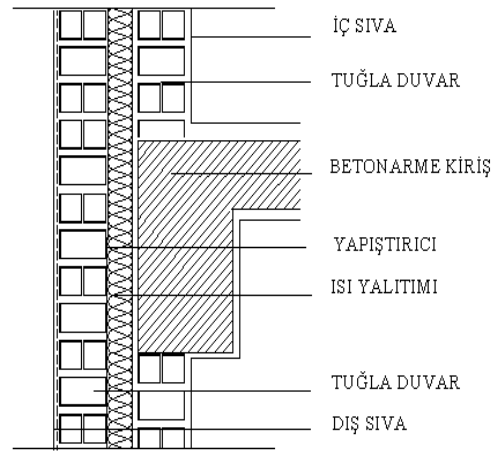


**Şekil 2:**  
Çift duvar arası ısı yalıtımı uygulanmış yapılarda ısı köprülerinin yalıtımına ilişkin örnek detaylar



**Şekil 3:**

Yurtdışı çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarında ısı köprülerinin yalıtım detayı (Kesit-1)



**Şekil 4:**

Yurtdışı çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarında ısı köprülerinin yalıtım detayı (Kesit-2)

Bu çalışmada ilk olarak; Türkiye’de uygulanan çift duvar arası yalıtım detaylarının, yurtdışı uygulamaları ile bir karşılaştırması yapılacaktır. Bu amaçla, Şekil 3’te verilen Kesit-1 ve Şekil 4’te verilen Kesit-2’nin U değerleri, ısı akım diyagramları ve yoğunlaşma durumları örnek binaya ait duvar kesitine uyarlanarak incelenmiştir.

Kesit-1’de uygulanan çift duvar arası yalıtım (sandviç duvar) sisteminde; 8,5 cm kalınlığında iki tuğla duvar arasına 3 cm kalınlığında polistren sert köpük levhalar yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 3). Tablo 2’de Kesit-1’in, örnek binaya uyarlanmış dış duvarlarına ait ısı köprüleri bölgesinin, ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri), ısı akısı (q) ve difüzyona eşdeğer hava tabakası kalınlığı ( $\Sigma S_d$ ) verilmektedir.

Tablo 2’de  $T_i=20$  °C ve  $T_{iy}=12,6$  °C olduğu; iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın 3°C’yi aştığı görülmektedir. Bu durumda bu kesite ait ortamda da uygun bir ısı konforun sağlanamadığı söylenebilmektedir. Bu uygulamada, dış taraftaki tuğla duvarın betonarme yüzeylerin dışına uygulanmasıyla ısı köprüleri oluşumunun engellenmesi amaçlanmıştır. Ancak ısı yalıtım malzemesinin kat döşemelerinde kesilmesi şeklinde uygulanan bu detayın, ısı köprülerini tam olarak önleyemediği görülmüştür. Ancak kesitin hiçbir yüzeyinde yoğunlaşma gerçekleşmediğinden dolayı bu detayın yapıda uygulanması yapı fiziği açısından bir sorun yaratmamaktadır (Şekil 5b).

**Tablo 2. Kesit-1’de görülen ısı köprüleri bölgesinin örnek binaya uyarlanarak hesaplanan U değeri**

TABAKA	Tabaka Kalınlığı d(m)	Su buharı difüzyon katsayısı $\mu$	Difüzyon dengi Hava tabaka kalınlığı Sd (m)	Isı iletkenlik hesap değeri $\lambda h$ (W/mK)	Yüzeysel ısı iletim direnci $d/\lambda h, 1/\alpha$ ( $m^2K/W$ )	Sıcaklık T ( $^{\circ}C$ )	Doymuş su buharı basıncı Ps (Pa)
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (İç)	-	-	-	-	0,13	20	2340
İç sıva (kireç-çimento harcı)	0,02	15	0,3	0,87	0,023	12,6	1460
Donatılı normal beton (TS 500'e uygun)	0,3	70	21	2,1	0,143	11,29	1339,51
Tuğlalarla duvar (TS 705'e uygun)	0,085	5	0,425	0,5	0,17	3,15	766,59
Dış sıva (çimento harcı)	0,03	15	0,45	1,4	0,021	-6,53	352,26
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (Dış)	-	-	-	-	0,04	-7,73	317,36
						-10	260
$\Sigma Sd= 22,175$ m			$U= 1,898$ W/m <sup>2</sup> K			$q= 56,94$ W/m <sup>2</sup>	

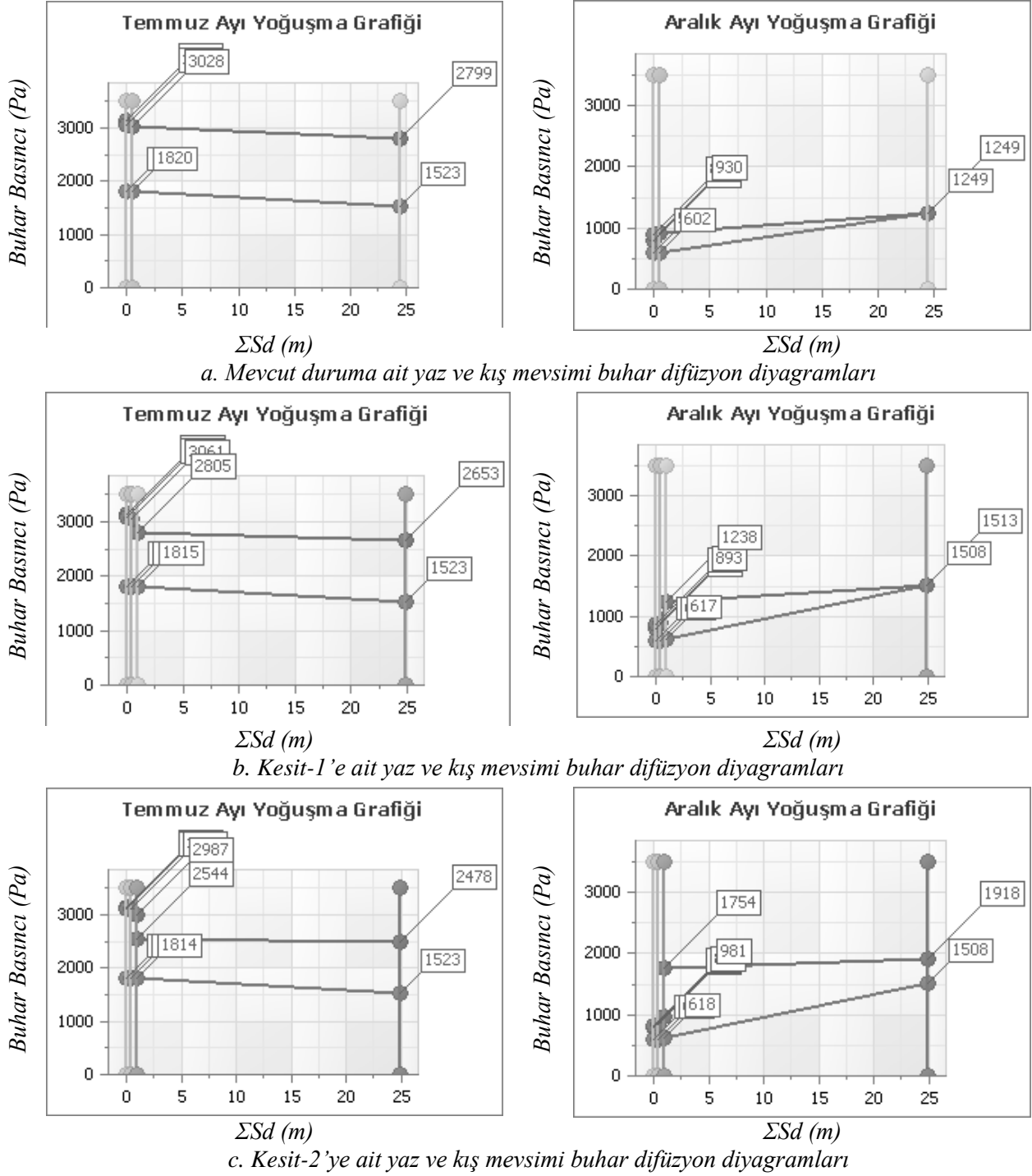
Kesit-2’de uygulanan çift duvar arası yalıtım (sandviç duvar) sisteminde; 8,5 cm kalınlığında iki tuğla duvar arasına yalıtım malzemesi olarak, 3 cm kalınlığında polistren sert köpük levhalar kullanılmıştır (Şekil 4). Bu uygulamada, öncelikle ısı yalıtım malzemesi ve daha sonra tuğla duvar malzemesinin betonarme yüzeylerin dışına uygulanmasıyla ısı köprülerinin oluşumu önlenmiştir.

Tablo 3’de Kesit-2’nin, örnek binaya uyarlanmış dış duvarlarına ait ısı köprüleri bölgesinin, ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri), ısı akısı (q) ve difüzyona eşdeğer hava tabakası kalınlığı ( $\Sigma Sd$ ) verilmektedir. Tablo 3’den,  $T_i=20$   $^{\circ}C$  ve  $T_{iy}=16,95$   $^{\circ}C$  olduğu; iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın 3  $^{\circ}C$ ’yi aşmadığı görülmektedir. Bu durumda bu yapıda uygun bir ısı konforun sağlanabildiği söylenebilmektedir. Ayrıca kesitin hiçbir yüzeyinde yoğuşma gerçekleşmediğinden dolayı bu detayın yapıda uygulanması uygun olmaktadır (Şekil 5c).

Şekil 5’de üç farklı duvar kesitine ait yaz ve kış mevsimlerinde (temmuz, aralık) tespit edilen yoğuşma durumlarının karşılaştırılması yapılmaktadır.

**Tablo 3. Kesit-2’de görülen ısı köprüleri bölgesinin örnek binaya uyarlanarak hesaplanan U Değeri**

TABAKA	Tabaka Kalınlığı d(m)	Su buharı difüzyon katsayısı $\mu$	Difüzyon dengi Hava tabaka kalınlığı Sd (m)	Isı iletkenlik hesap değeri $\lambda h$ (W/mK)	Yüzeysel ısı iletim direnci $d/\lambda h, 1/\alpha$ ( $m^2K/W$ )	Sıcaklık T ( $^{\circ}C$ )	Doymuş su buharı basıncı Ps (Pa)
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (İç)	-	-	-	-	0,13	20	2340
İç sıva (kireç-çimento harcı)	0,02	15	0,3	0,87	0,023	16,95	1932,23
Donatılı normal beton (TS 500'e uygun)	0,3	70	21	2,1	0,143	16,41	1867,19
Polistren-partiküler köpük (TS 7316)	0,03	20	0,6	0,04	0,75	13,05	1503,85
Tuğlalarla duvar (TS 705'e uygun)	0,085	5	0,425	0,5	0,17	-4,57	416,92
Dış sıva (çimento harcı)	0,03	15	0,45	1,4	0,021	-8,56	295,11
Yüzeysel ısı iletim katsayısı (Dış)	-	-	-	-	0,04	-9,05	282,66
						-10	260
$\Sigma Sd= 22,775$ m			$U= 0,783$ W/m <sup>2</sup> K			$q= 23,49$ W/m <sup>2</sup>	

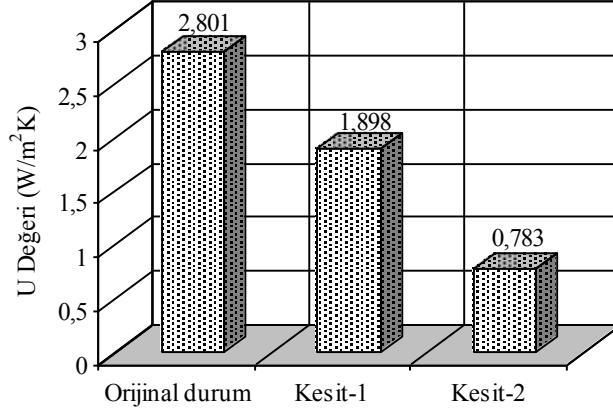


**Şekil 5:**

Örnek binanın orijinal durum, Kesit-1 ve Kesit-2 için hesaplanan Buhar Difüzyon Diyagramlarının karşılaştırılması

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde; örnek binanın duvar kesitinde betonarme yüzey bölgesinde orijinal durumda hesaplanan  $U = 2,801 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Kesit-1'de hesaplanan  $U = 1,898 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve Kesit-2'de hesaplanan  $U = 0,783 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak bulunmuştur. Şekil 6'da ise örnek binanın betonarme yüzey bölgelerinin Kesit 1 ve Kesit 2 için hesaplanan  $U$  değerleri karşılaştırılmıştır. Buna göre en uygun sonucun Kesit-2'ye ait detayda meydana geldiği görülmektedir. Isıl konforun sağlanması ve yoğuşma gerçekleşmemesi dolayısıyla, çift duvar arası yalıtım uygulamaları için Kesit-2 için optimal detayı oluşturmaktadır.

Isı köprüleri, duvar kesitlerinde farklı ısı iletkenlik katsayılarına sahip malzemelerin tam ya da kısmi olarak delinmesi, yapı elemanı kalınlıklarında farklılıklar olması ve özellikle duvar/zemin/tavan birleşim noktalarında ısı direncin farklılıklar göstermesi sonucu açığa çıkmaktadır. TS825 yalıtım standardı, ısı köprülerine karşı önlem alınmasını zorunlu kılmaktadır. Isı köprüsü olması durumunda ilgili büyüklükler TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2 ve TS EN ISO 14683 veya TS 8441 standardına göre hesaplanmalıdır [TS 825, 2008]. Hesaplama sırasında ölçüler iç ya da dış ölçüler kullanılarak yapılabilir.



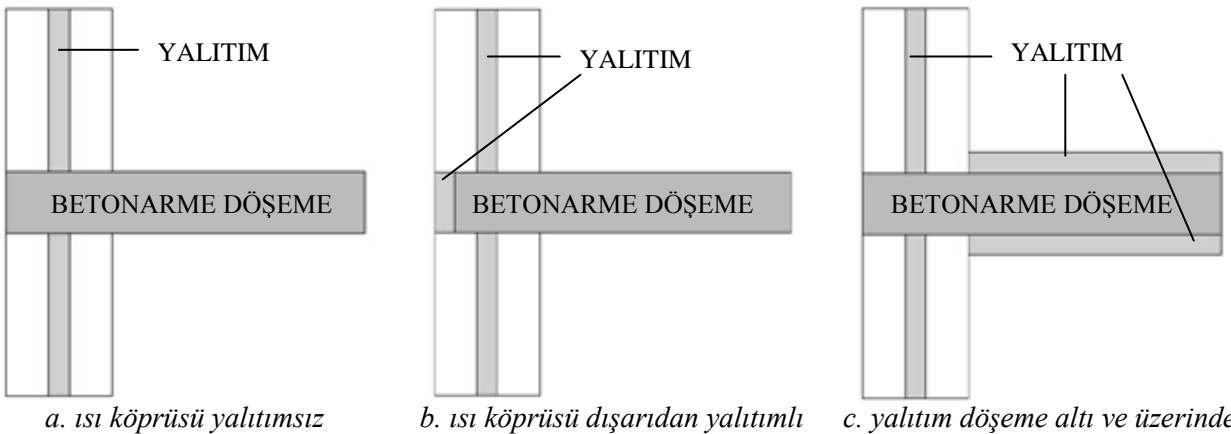
**Şekil 6:**

*Örnek binanın ısı köprülerinin orijinal durum, Kesit-1 ve Kesit-2 için hesaplanan U değerlerinin karşılaştırılması*

Toplam (içten-içe) iç ölçüler kullanılarak yapılan hesaplamada; her bir ısı köprüsü için; ısı köprüsünün olduğu uzunluk “ $l_{oi}$ ” ile tiplerine göre belirlenen iki boyutlu ısı köprülerinin ısı geçirgenlik katsayısı “ $\psi_{oi}$ ” değerleri çizelgeye girilir ve birbirleri ile çarpılarak toplanır. Bulunan çarpım değeri iletimle gerçekleşen ısı kaybı formülüne ilave edilir.

Dış ölçüler kullanılarak yapılan hesaplamada ise her bir ısı köprüsü için “ $\psi_e$ ” değerleri, ısı köprüsünün olduğu uzunluk “ $l_e$ ” ile çarpılır ve çarpım sonuçlarının toplamı iletimle gerçekleşen ısı kaybı formülüne ilave edilir. Hesaplamalarda 0,1 W/mK’den küçük olan “ $\psi_e$ ” değerleri ihmal edilir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında; çift duvar arası yalıtımlı binalarda ısı köprülerinin farklı şekillerde yalıtılması sonucu, ortaya çıkacak olan ısı kayıpları ve yoğunlaşma durumu incelenmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda, mevcut uygulama özellikleri dikkate alınarak, TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği’nde tarif edilen çift duvar arası yalıtımlı duvar kesitlerinde oluşabilecek farklı yalıtım durumları için, ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır.



**Şekil 7:**

*TS 825’de belirtilen çift duvar arası yalıtımlı duvarlarda ısı köprülerine ait farklı yalıtım tipleri*

Şekil 7'de TS 825'de belirtilen farklı duvar kesitleri görülmektedir. Bu duvar kesitlerinden ilkinde ısı köprüsü yalıtımsız haldedir (Şekil 7a). İkinci kesitte, ısı köprüsü dışarıdan yalıtılmıştır (Şekil 7b). Üçüncü kesitte ise, ısı köprüsü dışarıdan yalıtımsızdır, ancak içeride alt ve üst döşemeye yalıtım yapılmıştır (Şekil 7c).

Şekil 7'de farklı yalıtım tiplerini gösteren ısı köprülerinin ısıl geçirgenlik katsayısı değerlerine göre TS 825'de belirtilen özellikleri Tablo 4'te verilmektedir. Yukarıda belirtilen üç farklı ısı köprüsü için, dışarıdan ölçü alacak şekilde örnek bina kesitinde ortaya çıkacak ısı kaybı hesapları yapılmıştır. Şekil 8'de, farklı ısı köprülerinin ısı kaybı üzerindeki etkileri karşılaştırılmaktadır. Yalıtımsız kesitteki ısı kaybı oranı, diğer kesitlere oranla çok daha fazladır.

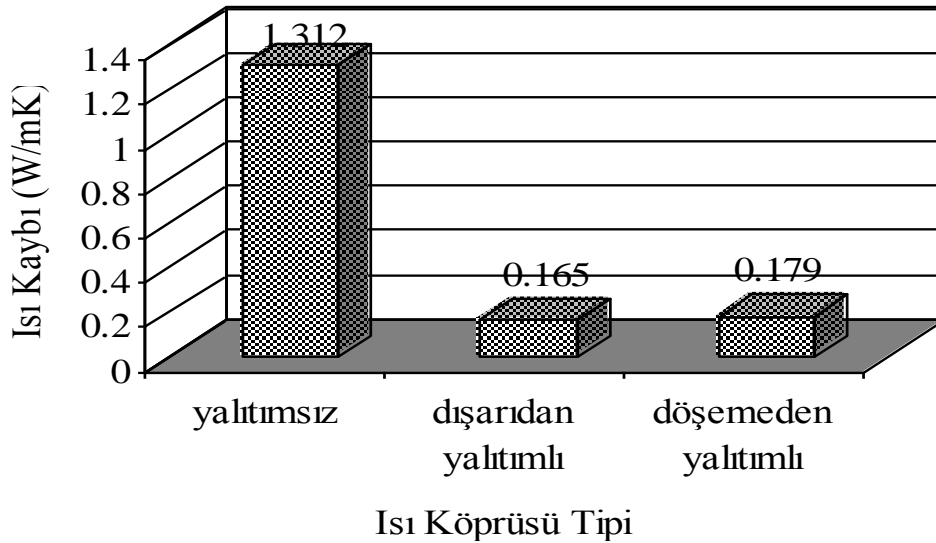
Aynı kesitlerin yoğuşma kontrolleri yapıldığında, her üç durumda da duvar yüzeyinde yoğuşma sorununun devam ettiği görülmüştür. Çift duvar arası yalıtımlı duvarlarda yoğuşma genellikle karşı karşıya kalınan bir problemdir ve yoğuşma sorununun önüne ancak dışarıdan yalıtım uygulaması yapılması halinde geçilebilmektedir.

Kesitlerin U ısı geçirgenlik değerleri de hesaplanmıştır. Şekil 7a ve 7c'de yapı elemanının U değeri değişmemektedir.  $U = 4,372 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak bulunmuştur. Ancak yalıtımlı olan kesitte (Şekil 7b) U değeri düşmekte ve  $0,552 \text{ W/m}^2\text{K}$  değerini almaktadır.

Ulusal ve uluslararası standartlar ısı kaybı ile ilgili yapılan hesaplamalarda, ısı iletiminin bir boyutlu olduğunu kabul etmektedir. Oysaki ısı köprülerinde iki boyutlu ısı iletimi meydana geldiği çeşitli araştırmalarda tespit edilmiştir (Dilmaç ve diğ., 2005). Uluslararası yayınlarda, genellikle ısı köprülerinde sıcaklık ve ısı akısı dağılımlarının belirlenmesi ile ilgili hesap metodları tanıtılmakta; fakat bunların uygulanması sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına rastlanmamaktadır. Özellikle kirişli betonarme döşemelerle ilgili sonuçlar çok sınırlıdır.

**Tablo 4. Farklı yalıtım tiplerine göre ısı köprülerinin özellikleri**

Isı köprüsü tipi:	$L_{2D}$ (m)	$\Psi_e$ W/mK	$\Psi_{oi}$ W/mK	$\Psi_i$ W/mK
Şekil 7a. Yalıtımsız	1,56	0,80	0,80	0,90
Şekil 7b. dışarıdan yalıtımlı	1,33	0,60	0,60	0,65
Şekil 7c. döşeme alt ve üstten yalıtımlı	1,40	0,65	0,65	0,70



**Şekil 8:**

Farklı yalıtım türlerine göre ısı köprülerinde görülen ısı kayıplarının karşılaştırılması



### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Isı köprülerinin yalıtımı, enerji kayıplarını önlemek dışında, yapı iskeletini oluşturan beton ve donatı demirlerini; ısı farklılıklardan, yoğuşma ve nemin neden olduğu zararlı etkilerden korumaktadır ve yapı ömrü uzamaktadır. Yapılarda ısı yalıtımı, duvar, döşeme, çatı, ısı köprüleri vb. elemanlardan ısı geçişlerini yavaşlatmak ve yapının sağlığını korumak amacıyla yapılmaktadır. Isı yalıtımının yetersiz olması yapı içi ısısal konfor koşullarının eksik olmasına yol açmaktadır. Isı yalıtımının konumuna göre yapı kabuğu kendi içinde içten yalıtımlı, ortadan yalıtımlı (sandviç duvar), dıştan yalıtımlı vb. olmak üzere alt sınıflara ayrılmaktadır. Yapı kabuğunda ısı yalıtım katmanının konumu ısı köprülerinin oluşumu açısından önemlidir.

Ülkemizdeki çift duvar arası yalıtım uygulamalarında dış duvarlar yalıtılarak korunmaya alınmakta, ancak betonarme yüzeylerin boş bırakılmasıyla, bu alanda ısı köprülerinin oluşumu engellenememektedir. Yurtdışı uygulamalarında tercih edilen seçeneklerden biri cephenin tuğla duvar ile korunmasıdır. Bu tür bir kesitte dış taraftaki tuğla duvarın betonarme yüzeylerin dışına uygulanmasıyla ısı köprüleri oluşumu engellenmektedir. Ancak ısı yalıtım malzemesinin kat döşemelerinde kesilmesi sonucu, ısı köprüleri tam olarak engellenememekte, üstelik bu kesitlerde yoğuşma sorunu görülmektedir. Bir diğer seçenek; öncelikle ısı yalıtım malzemesi ve daha sonra tuğla duvar malzemesinin betonarme yüzeylerin dışına uygulanmasıdır. Bu tür bir kesitte ısı köprülerinin oluşumu önlenmiş ve yoğuşma sorunu ortadan kalkmıştır. Bu kesitin çift duvar arası yalıtım uygulamalarında optimal detay olduğu söylenebilir.

Avrupa ülkelerinde uygulanan iki örnek kesit detayı, yapılarda ısı köprüleri oluşumunu önlemektedir, ancak her iki detayın da uygulanması güç ve sakıncalı olabilmektedir. Bunun nedeni, ısı köprülerinin dış yüzeyine uygulanan tuğla duvar malzemesinin sabitlenmemesidir. Uygulamalarda dıştaki koruyucu tuğla duvar malzemesinin stabilitesini sağlayan hiçbir eleman kullanılmamaktadır. Bu detayların; zamanla oluşabilecek oturmalar veya yükler karşısında dış duvarın tutunamayarak yıkılması gibi sakıncaları vardır. Bu nedenle günümüzde Avrupa ülkelerinde, duvarlar ve betonarme yüzeylerin yalıtımında bir diğer alternatif olan duvarların dıştan veya içten yalıtımı gibi sistemler tercih edilmektedir.

Duvarların çift duvar arası yalıtım veya içten yalıtım uygulamalarında ısı köprülerini engellemek ancak ek olarak yapılan ısı yalıtım uygulamaları ile mümkün olabilmektedir. Cephenin dıştan yalıtılması, yalıtımın bir bütün olduğunu benimseyen bir sistemdir. Dıştan uygulanan yalıtımla hem duvar elemanlarının oluşturdukları yüzeyler hem de kolon, kiriş, lento, perde duvar gibi betonarme yüzeyler yalıtılarak ısı köprüleri ortadan kaldırılmaktadır. Dolayısıyla duvarların dıştan yalıtılması yapı fiziği açısından en uygun çözümdür.

### KAYNAKLAR

1. Alamut, Ö., Dilmaç, Ş. (2004) Çift Duvar arası Isı Yalıtım Uygulamaları ve Çözüm Önerileri, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul.
2. Brown WP, Wilson AG. (1963) Thermal bridge in buildings. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction. Available from: <http://irc.nrc.cnrc.gc.ca/cbd/cbd044e.html>
3. Cihan, T., Şenkal Sezer, F., Dilmaç, Ş. (2005) Ülkemizdeki çift duvar arası yalıtım uygulamalarında betonarme kirişlerin oluşturduğu ısı köprülerinin değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:10, Sayı:2, 33-47
4. Csoknyai, T. (2001) "Surface Temperature a Thermal Bridges", Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 25, No. 1, 67-81
5. Dilmaç, Ş. (1998) Çift Duvar Arası Isı Yalıtımı Uygulamalarında Türkiye' deki Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Avrupa Birliği Ülkelerindeki Uygulamalar İle Karşılaştırılması, Trakya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu
6. Dilmaç, Ş. Alamut, Ö. (2003) Comparison of International Thermal Analysis Methods of Thermal Bridges, Proceedings of the First International Energy, Energy And Environment Symposium, July 2003, İzmir, 781-786

7. Dilmaç, Ş., Güner, A., Kaygusuzoğlu, G., Cihan, M. T., Şenkal Sezer, F. Kartal, S., Kalpak, Ö. (2005) Döşemelerde Yanal Isı Kayıplarının Hesaplanması İçin Parametrelerin Belirlenmesi, Proje No: İÇTAG – 1242, TÜBİTAK
8. Evcil, N. (2000) Isı İzolasyon ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul
9. Hassid, S. (1989) Thermal bridges in homogeneous walls: a simplified approach, *Building Environment*, Vol: 24, 259–264
10. Hassid, S. (1990) Thermal bridges across multilayer walls: An integral approach, *Building and Environment*, Volume 25, Issue 2, 143-150
11. Karagöz, N. (2004) Konutlarda Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa
12. İZODER (2005) TS825 Binalarda Isı Yalıtımı Bilgisayar Programı
13. Matrosov, Y. A., Butovsky, I. N. (1989) U.S.S.R. experience in thermal design of building envelopes with improved thermal properties, *Energy and buildings*, volume 14, Issue 1, 31-41
14. Özer, M. (1982) Yapılarda Isı-Su Yalıtımları Yapı Fiziksel Tanım Hesaplama Esasları”, İstanbul
15. PÜD (2003) Polistren Üreticileri Derneği TS825 Binalarda Isı Yalıtımı Bilgisayar Programı
16. Şenkal Sezer, F., Karagöz, N. (2004) Konutlarda Kullanıcıların Isıl Konfor Koşullarına İlişkin Görüşlerini İçeren Bir Araştırma: Bursa / Ataevler Örneği, *Dizayn Konstrüksiyon Dergisi*, Sayı: 225, Sayfa: 84 – 87
17. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (2008) Mecburi Standart Tebliği, Ankara

Makale 20.01.2009 tarihinde alınmış, 28.09.2009 tarihinde düzeltilmiş, 25.11.2009 tarihinde kabul edilmiştir.  
İletişim Yazarı: F.Ş. Sezer (filizs@uludag.edu.tr).