

## DIŞ DUVAR ELAMANLARININ MALZEME ÖZELLİKLERİNİN VE YALITIM SİSTEMİNİN ISI KÖPRÜSÜ DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Adem BAKIŞ<sup>1</sup> Güler GAYGUSUZOĞLU<sup>2</sup> Mustafa YILMAZ<sup>1</sup> Kemal KOCA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kara Harp Okulu, İnşaat Mühendisliği Bölümü,06654, Ankara, TÜRKİYE,

<sup>2</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Müh.Fak., İnşaat Müh. Böl, 59860, Tekirdağ, TÜRKİYE  
abakis@kho.edu.tr

**Özet-**Bu çalışmada betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli yapıların duvar-döşeme-kiriş birleşimlerinde oluşan ısı köprülerinin davranışı, farklı yalıtım sistemlerinde duvar elemanının ısı iletkenlik katsayısı ( $\lambda$  değerleri) değiştirilerek incelenmiştir. Türkiye’de ara katlarda en çok kullanılan 6 yalıtım uygulamasının kesitleri üzerinde inceleme yapılmıştır. Hesaplamalar sonlu elemanlar metodunu kullanan, QuickField5.6 programında duvar-kiriş-döşeme birleşimlerinde sıcaklık ve ısı akısı dağılımları, birinci derece gün bölgesi için sıvalı durum göz önüne alınarak yapılmıştır. Isı köprüsünü oluşturan elemanların ısı iletkenliklerindeki artışa bağlı olarak, hesaplanan  $U_{IK}$  ve  $\xi$  değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. “ $\xi$ ” de meydana gelen değişikliklerin üzerinde yalıtımın yeri ve ısı köprüsünün ısı iletkenlik değerinin etkisinin önemi büyüktür. Duvarın ısı iletkenlik değerindeki değişiminin  $U_t$  değerleri üzerinde anlamlı farklar ortaya çıkarmadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler-** Isı köprüsü; Isı iletimi; iki boyutlu ısı transferi.

## EXAMINING THE EFFECT OF MATERIAL PROPERTIES OF OUTER WALL ELEMENTS AND ISOLATION SYSTEM ON THERMAL BRIDGE BEHAVIOR

**Abstract-**In this study, the sections of 6 isolation applications that are used mostly in mezzanine floors in Turkey have been examined. The behavior of the thermal bridges formed in wall-floor-girder joints of the buildings with reinforced concrete framework carrier systems in different isolation systems by changing the thermal conductivity coefficient ( $\lambda$  values) of the wall elements have been examined. The calculations were made with the Quick Field 5.6 Program which uses the Finite Elements Method; and the heat and warmth distributions in wall-girder-floor joints were measured by taking the plastered status for the first degree day region into consideration. The increases in  $U_{IK}$  and  $\xi$  happened because of the increase in the thermal conductivity of the elements that constitute the heat bridge. The importance of the place of the isolation and the thermal conductivity value of the thermal bridge are bigger on the changes that occur on “ $\xi$ ”. It has been observed that the change in thermal conductivity value of the wall does not cause any meaningful differences on  $U_t$  values.

**KeyWords-**Thermal bridge; heat transmission ; two-dimensional Heat Transfer .

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların ortalama ısı geçirgenliğinden daha yüksek ısı geçirgenliğine ve sınırlı alana sahip bölgelerine ısı köprüsü adı verilmektedir. Bu bölgelerde meydana gelen fazladan ısı kayıpları ısı köprülerini önemli hale getirmektedir.

Bu kayıpların başlıca sebepleri elemanların geometrisi olduğu gibi farklı ısı iletkenliğe sahip malzemelerin birlikte kullanılmasından da kaynaklanmaktadır. Büyük bir kullanım alanına sahip betonarme elemanlar geometrileri ve yüksel ısı iletkenlik katsayıları nedeniyle etkin birer ısı köprüsü oluşturmaktadır. ısı köprülerindeki fazladan ısı kayıplarının diğer sebebi, bu bölgelerde farklı ısı iletkenlikler sebebiyle paralel yöndeki farklı sıcaklıkların etkisinde meydana gelen iki boyutlu ısı iletimidir. Binalarda oluşan ısı kayıplarının gerçek değeri ile hesaplanan değeri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Hesaplamalarla istenilen faydanın sağlanabilmesi için gerçek durumu yeterli doğrulukla ifade edebilen yaklaşımların kullanılması gerekir [1].

Uluslararası standartlara göre binaların, ısı enerjisi ihtiyaçlarının belirlenmesi için bir boyutlu ısı kaybı hesapları yapılır. ısı köprülerinde, farklı  $\lambda$  (ısı iletkenlik katsayısı) değerlerine sahip yapı malzemelerin belirli bir alanda yan yana gelmesi ile önemli miktarda yanal ısı kayıpları oluşmaktadır. Bu bölgelerde iki boyutlu ısı iletimi mevcuttur. Günümüzdeki birçok çalışmada iki boyutlu ısı transferi tek boyuta indirgenerek hesaplanmaktadır. 1990'ın başlarında kararlı haldeki ısı iletimi denkleminin çözümü için nümerik yaklaşımlar önerilmekteydi[3-6]. Daha sonraki çalışmalarda ise ısı köprülerinin meydana geldiği bölgelerde hem iki boyutlu hem de değişken rejim şartları için modellemeler yapılmıştır. Clark ve arkadaşları iki ve üç boyutlu ısı iletim denklemini sonlu elemanlar metodunu kullanan bir bilgisayar programı yardımı ile çözmüştür[7]. Kosny ve Kosseck çok boyutlu ısı transfer denkleminin bir bilgisayar programı yardımı ile çözümlenmesine çalışmışlardır[8]. Larbi'nin çalışmasında da ısı köprülerinin iki boyutlu istatistiksel bir modeli yapılmaya çalışılmıştır[9]. Gao ve arkadaşları [10] ısı köprülerini üç boyutlu çözüm yapan bir bilgisayar programı yardımı ile çözmeye çalışmışlardır. Martin ve arkadaşları binalarda ısı köprülerinde meydana gelen ısı kayıplarını doğru hesaplamak için bir boyutlu ısı iletimi denklemini göz önüne alan, ancak zamana bağlı dinamik bir model geliştirilmişlerdir[11]. TÜBİTAK İÇTAG-I242 projesinde döşemelerde yanal ısı kayıplarının hesaplanması amacıyla parametreler belirlenmiştir[12].

ısı köprülerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, Theodosiou ve Papadopoulos Yunan binalarında kullanılan temsili çift duvar ısı yalıtım konfigürasyonları üzerine bir çalışma yapılmıştır[1]. ısı köprülerinin düzeltilmesi durumunda teras evlerde ısıtma için birincil enerji ihtiyacını (% 25 oranında) azaltılması adına etkili bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır[13]. Berggren ve Wall çalışmalarında binanın enerji performansının iyileştirilmesi sırasında iletim ile ısı transferi hesaplamalarında ısı köprülerinin artan rolünün önemini vurgulamıştır[14]. Bir boyutlu ile iki boyutlu ısı transferi arasında ısı akışı % 10-20 aralığında değişiklikler oluşturmaktadır[15]. Larbi ısı köprülerini iki boyutlu regresyon modelleri ile üç örneği incelemiştir[9]. Martin ve arkadaşları ısı köprülerinin etkilerinin hesaplamalarda ihmal edildiğini belirterek, ısı köprülerinin iki farklı tip için dinamik koşullar altında farklı yöntemler ile inceleme yapmıştır[11]. ısı kayıplarının azaltmak amacıyla ısı köprülerinin davranışlarının ve ısı köprüsünü oluşturan malzemelerin ısı köprüsüne etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Literatürde genellikle incelenen örnek kesit sayısı iki ile dört arası değişmektedir[1],[9],[11],[13]. Bu çalışmada Türkiye betonarme binalarda kullanılan 6 kesit üzerinde inceleme yapılarak ısı köprüsünü oluşturan malzemelerin ısı köprüsüne etkileri iki boyutlu olarak incelenmiştir. Böylece Malzemelerin ısı iletkenliklerinin değişimi ve kullanılan yalıtım çeşitlerinin ısı köprüsüne etkileri duvar malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının değişmesi durumunda davranışı bu çalışmada görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları ile bir yapı için uygulanacak yalıtım çeşidi ve ısı iletimi açısından en uygun malzeme seçimi yapılabilir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Türkiye’de kullanılan kesitler (malzeme ve kalınlık olarak) seçilerek, ara kat döşemelerinde meydana gelen ısı köprülerinin davranışı farklı yalıtım çeşitlerinde (Yalıtımsız, Dışarıdan Yalıtımlı, Isı Köprüsü Yalıtımlı, İçerden Yalıtımlı, Çift Duvar Arası Yalıtımlı, Çift Duvar Arası ve Kiriş İç Yüzü Yalıtımlı) duvar malzemesinin özelliklerinin değiştirilmesi sonucu QuickField5.6 program verilerine göre hesaplamalar yapılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardındaki hesaplamalar esas alınarak birinci derece gün bölgesinin, ara kat döşeme, kiriş ve duvar birleşimlerindeki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları ölçekli kesit şemaları Şekil 1’ de gösterilmiştir. TS 825’ de belirtilen formülasyonda:

$$U_t = b \cdot U_{IK} + \xi \quad (1)$$

Şeklinde ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliği ( $U_t$ ) hesaplanır. Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliği  $U_t$ , “ x ” eksenini doğrultusundaki kayıplara bağlı olarak hesaplanan  $U_{IK}$ ’nın ısı köprüsü genişliğiyle çarpımına, “y” eksenini doğrultusundaki kayıplara bağlı olarak hesaplanan  $\xi$ ’ nin eklenmesi sonucu bulunmuştur.  $U_{IK}$  hesaplanırken:

$$U_{IK} = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e} + \frac{\sum d}{\sum \lambda}} \quad (2)$$

formülü kullanılmıştır.  $\xi$  değerleri QuickField 5.6 programından alınan değerlere göre hesaplanırken, ısı köprüsü kalınlığı, sıva kalınlıkları ve yalıtım malzemesi mevcut ise yalıtım malzemesinin kalınlığına bağlı olarak hesaplanmıştır.  $\xi$  değerleri bulunurken düşey ısı akılarının toplamı ile ısı köprüsünün var ise sıva ve yalıtım kalınlıklarına bağlı toplam kalınlığı ile çarpılarak, ısı köprüsünün iç ile dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına bölümünden elde edilmiştir.

Yanal kayıplara ilave olarak bu bölgelerde mevcut düşey ısı akısı kayıplarının değeri ihmal edilemeyecek boyutlara ulaşabilir. Bundan dolayı ısı köprüsünde oluşan toplam kayıpların iki boyutlu olarak ele alınması gerekmektedir.

Hesaplamalar TS 825’in belirlediği birinci derece gün (DG) bölgesindeki iklim verilerine göre yapılmıştır. Kesitlerde iç hava sıcaklığı 20 °C olarak sabit seçilmiştir. Dış hava sıcaklığı ise TS 825’de verilen en düşük hava sıcaklığı birinci DG bölgesi için 8,4 °C olarak alınmıştır. Yine standartta verildiği üzere  $R_i = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $R_e = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak alınmıştır. Duvar malzemesinin ısı iletkenlik değerlerinin değişimi yapılmıştır.

Bu çalışmada ara kat döşemelerinde farklı yalıtım durumlarının uygulandığı altı ana kesit üzerinde, duvarın ve ısı köprüsünün ısı iletkenliklerinde yapılan değişimler sonucu meydana gelen ısı akısı ve sıcaklık alanları iki boyutta hesaplanmıştır.

### 2.1 Yalıtım uygulamalarının tanıtımı (Introduction of insulation applications)

Betonarme döşeme, kiriş ve dış duvardan oluşan kesitlerde, kiriş iç yüzünden itibaren döşemenin uzunluğu 70 cm, kiriş alt yüzeyinden itibaren duvarın uzunluğu 80 cm, kiriş üst yüzeyinden itibaren duvarın uzunluğu 50 cm olarak alınmıştır. Kiriş, duvar ve döşeme kalınlıkları sırasıyla 30 cm, 20 cm ve 15 cm, kiriş ve döşeme toplam yüksekliği ise 60 cm kabul edilmiştir.

Kesitler, farklı ısı iletkenlik değerlerine sahiptir. Kesitlerde beton ve yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları sabit alınarak, duvar malzemesi için üç farklı ısı iletkenlik değeri Tablo 1. de belirtildiği gibi alınmıştır.

**Tablo 1.** Isıl iletkenlik değerleri(Thermal conductivity values)

Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)	Malzeme
0,03	Ekstrüde polistren köpük (XPS)(TS 11989 EN 13164)
0,15	Gaz beton(TS EN 998-2)
0,30	Bims(TS EN 998-2)
0,45	Yatay Delikli Tuğla(TS EN 771-1)
1,5	Agrega(TS1114EN-13055-1'e uygun) kullanılmış beton

## 2.2 QuickField5.6 programı(Quickfield 5.6 program)

Program iki boyutlu ısı iletimi çözümü yapmaktadır. Sonuç grafiklerde ısı akısı doğrultusu ve eş sıcaklık eğrileri belirlenmektedir. Kesitte istenilen çizgi veya kapalı alan için, sıcaklık ve ısı akısı ile ilgili büyüklükleri belirlemek mümkündür.

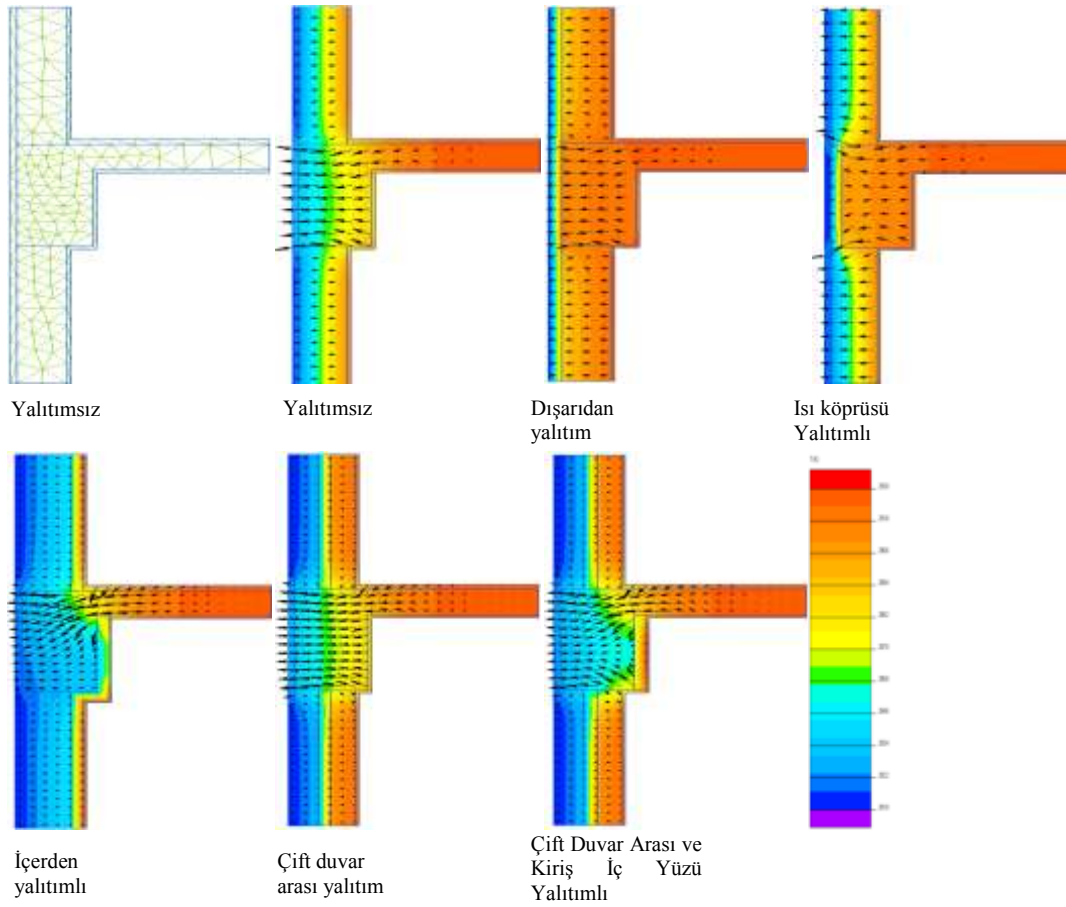
QuickField5.6 programında ısı iletimi ile ilgili aşağıdaki formüller kullanılmaktadır; Düzlemsel halde lineer olmayan problemler için;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q(T) - c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

Düzlemsel halde lineer problemler için ısı transferi denklemleri ise;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - c \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

QuickField paket programından elde edilen sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması TÜBİTAK İÇTAG-I242 projesi kapsamında mümkün olmuş ve kararlı (sabit) rejim şartları için çözüm yapılarak elde edilen sonuçların, kararlı rejim şartları için kullanılmasının güvenli olduğu belirtilmiştir[12]. Gerçeğe daha yakın değerler elde etmek amacıyla QuickField paket programı tercih edilmiştir.



**Şekil 1.** 6 adet kesitin sıcaklık dağılımı ve ısı akısı vektörleri (Isotherm curves and heat flux vectors of six sections)

### 3. HESAPLAMA VE BULGULAR (CALCULATION AND FINDINGS)

Yukarıda ele alınan kesitlerde malzeme özellikleri değiştirilerek sistem QuickField5.6 programında analiz edilmiş ve ısı köprüsü üç kısımda incelenmek koşuluyla, her bir bölgede meydana gelen bileşke  $q_a$ , yatay  $q_x$ , düşey  $q_y$  ısı akısı değerleri ile  $\phi$  bileşke ısı akısı açısı, hesaplanmıştır. Bu işlem için ısı köprüsünün incelenen her bir parçasında kapalı konturlar oluşturulmuştur.

Isı köprüsünün giriş ve döşeme kısmındaki iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları bu yüzeylerde oluşturulan doğrusal konturlar ile belirlendikten sonra ortalama iç ve dış yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. QuickField5.6 programından elde edilen değerler tablolara aktarılarak  $\Delta T$  “iç ve dış yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı”, yatay doğrultuda ısıl geçirgenlik değeri  $U_{IK}$  (ısı köprüsünün ısıl geçirgenliği) düşey doğrultudaki ısıl geçirgenlik değeri ve buna bağlı olarak  $\xi$  değerleri hesaplanarak ısı köprülerinde meydana gelen ısı kayıpları iki boyutlu olarak belirlenmiştir. Şekil 1’de de görüldüğü gibi hâkim olan ısı akımı iki boyutludur. Farklı yalıtım durumlarında, sıcaklık ve ısı akısı alanları aynı ölçekte çizildiği halde, ısı akısı şiddetini gösteren okların boylarındaki uzama veya kısalma ve eş sıcaklık eğrileri arasındaki mesafede görülen daralma veya genişleme açık şekilde ısı köprüsünü göstermektedir.

**Tablo 2.** Duvar ısı iletkenliğinin değişiminin  $U_{IK}$  değerine etkisi (The exchange of thermal conductivity of wall material on the value of the UIK).

Yalıtım Durumu	$\lambda_{\text{Beton}}=1,5\text{W/mK}$ , $\lambda_{\text{Yalıtım}}=0,03\text{W/mK}$ sabit alınmıştır.		
	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,15\text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,3\text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,45\text{ W/mK}$
<b>Yalıtımsız</b>	2.40	2.40	2.40
<b>Dışarıdan Yalıtımlı</b>	0,52	0,52	0,52
<b>Isı Köprüsü Yalıtımlı</b>	0,66	0,79	0,89
<b>İçerden Yalıtımlı</b>	1.32	1.33	1.33
<b>Çift Duvar Arası Yalıtımlı</b>	2.40	2.40	2.40
<b>Çift Duvar Arası ve Kiriş İç Yüzü Yalıtımlı</b>	1.55	1.57	1.58

Duvarın ısı iletkenlik değerinin değişimi durumunda “x” doğrultusundaki değişim( $U_{IK}$ ) verileri Tablo 2’ de görölmektedir. Tablo 2 incelendiğinde;

- $U_{IK}$  değerine etkisinin dışarıdan yalıtım durumunda değişim olmamıştır. Farklı malzemelerin kullanımı dışardan yalıtımlı bir durumda büyük değişiklikler oluşturmayacaktır.
- $U_{IK}$  değerleri arasındaki farkların ısı köprüsünün yalıtıldığı kesit ve “Çift Duvar Arası ve Kiriş İç Yüzü Yalıtımlı” kesitte belirgin olduğu diğer kesitlerde ise bu farkların ihmal edilebilecek seviyededir.
- Isı köprülerinde duvarın ısı iletkenliğinin değişiminin “x” doğrultusundaki ısı kayıplarında çok etkin olmadığını fakat yalıtım durumuna göre belirginlik gösterebilmektedir.
- Çift duvar arası yalıtım ile yalıtımsız kesit değerlerinin aynı çıkmış olması da önemli bir sonuçtur.
- En verimli kesit dışardan yalıtımlı kesittir

**Tablo 3.** Duvar ısı iletkenliğinin değişiminin  $\xi$  değerine etkisi(The exchange of thermal conductivity of wall material on the value of the  $\xi$ ).

Yalıtım Durumu	$\lambda_{\text{Beton}}=1,5\text{W/mK}$ , $\lambda_{\text{Yalıtım}}=0,03\text{ W/mK}$ sabit alınmıştır.		
	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,15\text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,3\text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,45\text{ W/mK}$
<b>Yalıtımsız</b>	0.33	0.34	0.35
<b>Dışarıdan Yalıtımlı</b>	0.02	0.02	0.02
<b>Isı köprüsü Yalıtımlı</b>	0.05	0.14	0.22
<b>İçerden Yalıtımlı</b>	0.64	0.64	0.64
<b>Çift Duvar Arası Yalıtımlı</b>	0.19	0.20	0.21
<b>Çift Duvar Arası ve Kiriş İç Yüzü Yalıtımlı</b>	0.62	0.64	0.65

Duvarın ısı iletkenlik değerinin değişimi durumunda “y” doğrultusundaki değişim( $\xi$ ) verileri Tablo 3’ de görölmektedir. Tablo 3 incelendiğinde;

- Duvarın ısı iletkenliğinin değişiminde içerden ve dışarıdan yalıtımlı kesitlerde  $\xi$  değerinin değişmediği gözlenmiştir.
- İçerden yalıtım durumu en az değişimin olduğu yalıtım çeşididir.
- Bunun nedeni ise betonarme kısmın yalıtılması sebebiyle düşey ısı akılarının azalmasıdır.
- En düşük değerler dışardan yalıtımlı kesitte, en yüksek değerler içerden yalıtımlı durumda meydana gelmiştir.
- Isıl iletkenlik katsayısının değişmesi ile birlikte en büyük değişim ısı köprüsü yalıtımlı kesitte meydana gelmektedir.

**Tablo 4.** Duvarı ısı iletkenliğinin değişiminin  $U_{\ell}$  değerine etkisi(The exchange of thermal conductivity of wall material on the value of the  $U_{\ell}$ ).

Yalıtım Durumu	$\lambda_{\text{Beton}}=1,5 \text{ W/mK}$ $\lambda_{\text{Yalıtım}}=0,03 \text{ W/mK}$ sabit alınmıştır.		
	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,15 \text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,3 \text{ W/mK}$	$\lambda_{\text{Duvar}}=0,45 \text{ W/mK}$
Yalıtımsız	1.77	1.78	1.79
Dışarıdan Yalıtımlı	0,33	0,33	0,33
<b>Isı köprüsü Yalıtımlı</b>	<b>0,45</b>	<b>0,61</b>	<b>0,75</b>
İçerden Yalıtımlı	1.42	1.43	1.46
Çift Duvar Arası Yalıtımlı	1.64	1.65	1.66
Çift Duvar Arası ve Giriş İç Yüzü Yalıtımlı	1.54	1.57	1.59

Tablo 4' te  $U_{\ell}$ ' nin değişimi incelendiğinde;

- Burada duvarın ısı iletkenlik değerlerinin değişiminin dışarıdan yalıtımlı kesitte etkili olmadığı diğer kesitlerde değişimin  $U_{\ell}$  değerleri üzerinde anlamlı farklar ortaya çıkarmadığı görülmüştür.
- Isı köprüsü yalıtımlı kesit duvarın ısı iletkenlik katsayısı arttıkça değerlerde anlamlı farklılıklar oluşmuştur.
- Duvarın ısı iletkenlik değerindeki değişimin toplam ısı akısı üzerinde çok az değişime neden olacağını görülmektedir.
- Çift duvar arası yalıtım çeşidinin yalıtım kesit ile farkın en az olduğu kesittir. Buradan da ısı kaybı açısından en elverişsiz kesit çift duvar arası yalıtımlı kesittir.
- Isı köprüsü yalıtımlı kesitin malzeme seçimi ısı kaybı açısından önemlidir.
- Duvar malzemesinin gaz beton, tuğla yada bims olması ısı yalıtım açısından ısı köprüsü yalıtımlı kesit dışında çok önemli fark oluşmamıştır.

Yatay ve düşey ısı akılarındaki değişimin üzerinde yalıtımın şeklinin ve ısı köprüsünü oluşturan elemanların ısı iletkenliklerinin etkisi görülmüştür. Isı köprüsünü oluşturan elemanlarda ısı iletkenliğinin azaltılması sonucunda aynı yalıtım uygulamalarında, yatayda bileşke ısı akısı ve düşeyde toplam ısı akısı değerlerinde, dolayısıyla ısı enerjisi kayıplarında azalmalar gözlenirken, duvar elemanlarında ısı iletkenlik değerlerinin azaltılıp ısı köprüsünü oluşturan elemanlarda sabit tutulması sonucunda ısı köprülerinde oluşan ısı akısı değerlerinde küçük artışlar gözlenmiştir. Bu durum; ısı kayıplarının belirli bir değerin altına düşürülmesi mümkün olmadığından diğer elemanların ısı iletkenliklerindeki azalmaların, ısı köprüsüyle bu elemanın birleşim noktalarında daha fazla zorlanmalara yol açarak ısı köprüsündeki kayıpların artmasına neden olduğu şeklinde açıklanmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Binalarda ısı konforun daha az enerji harcanarak sağlanması için mevcut ısı kayıplarının en aza indirilmesi gerektiği düşünüldüğünde ısı kayıpları hesaplanırken ısı köprülerinde meydana gelen fazladan ısı kayıpları iki boyutlu olarak hesaplanmalıdır.

Bu çalışmada beton, duvar ve yalıtım elemanlarının ısı iletkenlikleri değiştirilerek yapılan incelemede  $U_{\ell}$ ,  $U_{IK}$  ve  $\xi$  değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Isı köprüsünü oluşturan elemanların ısı iletkenliklerindeki artışa bağlı olarak hesaplanan  $U_{IK}$  ve  $\xi$  değerlerinde artışların meydana geldiği görülmüştür. “ $\xi$ ” de meydana gelen değişikliklerin üzerinde yalıtımın yeri ve ısı köprüsünün ısı iletkenlik değerinin etkisinin önemi büyüktür.

Duvarın ısı iletkenliğindeki değişimin  $\xi$  üzerinde etkisi az olmaktadır, ancak ısı köprüsünün yalıtılması durumunda bu etkinin tamamen ortadan kalktığı görülmektedir. Dolayısıyla  $\xi$

değerlerinin (yanal kayıpların) belirlenmesi üzerinde giriş ve döşemelerin yalıtılmasının etkili olduğu görülmüştür. Duvarın ısı iletkenliğindeki değişimin  $U_{\ell}$  üzerindeki etkisi göz önüne alındığında en az farkın dışarıdan yalıtım uygulamasında olduğu görülmüştür. Bu iki gözlem yalıtımın süreklilik gerektirdiği sonucunu doğurmuştur.

Isı köprüsünü oluşturan elemanların ısı iletkenliklerindeki artışa bağlı olarak, hesaplanan  $U_{TK}$  ve  $\xi$  değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Farklı malzemelerin duvar yapımında kullanımı ısı iletimi adına çok büyük farklılık göstermemektedir. Isı köprüsü yalıtımlı kesitin malzeme seçimi ısı kaybı açısından önemlidir. Duvar malzemesinin gaz beton, tuğla yada bims olması ısı yalıtım açısından ısı köprüsü yalıtımlı kesit dışında çok önemli değildir. Uygulanacak yalıtım çeşidine göre dış duvarın malzemesi seçilerek ısı kaybı açısından daha uygun malzeme seçimi yapılması uygun olacaktır.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Theodosiou T G and Papadopoulous, (2008) The Impack Of Thermal Bridges on the Energy demand of buildgs with double brick wall construction. *Energy and Buildings*, 40:2083-2089.
- [2] Mao G and Johonnesson G Dynamic, (1997) Calculation of Thermal Bridges. *Energy Buildings*, 26:233-240.
- [3] Kosny J and Christian J.E., (1995), Thermal evaluation of several configuration of insulation and structural materials for some metal stud walls, *Energy and Buildings*, 22, 157-163.
- [4] Hassid S. (1990), Thermal bridges across multilayer walls: An integral approach, *Building and Environment*, 25, 143-150.
- [5] Hassid S. (1980), Thermal bridges in homogeneous walls: A simplified approach, *Building and Environment*, 24, 259-264.
- [6] Salgon J.J. and Neveu A. (1987), Application of modal analysis to modelling of thermal bridges in buildings, *Energy and Buildings*, 10, 109-120.
- [7] Clark M R, McCann D M and Forde M C, (2003), Application of infrared thermos graphy to nondestructive testing of concrete and masonry bridges, *NDT&E International* 36, 265-275.
- [8] Kosny J and Kossecka, (2002), Multi-dimensional Heat Transfer Through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation programs. *Energy and Buildings*, 34:445-454.
- [9] Larbi B. A., (2005), Statical Modeling of Heat Transfer for Thermal Bridges of Buildigs. *Energy and Buildings*, 37:945-951.
- [10] Gao Y, Roux J J, Zhao L H and Jiong Y, (2008), Dynamic Building Simulation: A Low Order Model for Thermal Bridges Losses, *Energy and Buildings*, 40:2236-2240, 2008.
- [11] Martin K, Erkoreka A, Flores I, Odriozola M and Sala J M Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions. *Energy and Building* ,43:529-538 , 2011.
- [12] TÜBİTAK İÇTAG-I242, (2005), Döşemelerde Yanal Isı Kayıplarının Hesaplanması İçin Parametrelerin Belirlenmesi.
- [13] Evola, G., G. Margani, and L. Marletta, (2011), "Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate." *Energy and Buildings* 43.9: 2385-2393.
- [14] Berggren, Björn, and Maria Wall, (2013), "Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes–Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology." *Energy and Buildings* 65: 331-339.
- [15] Garay, Roberto, Amaia Uriarte, and Inés Apraiz. (2014), "Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade." *Energy and Buildings* 85: 579-591.