



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

ISI YALITIM UYGULAMALARINDA ISI KÖPRÜSÜ ETKİSİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

**BURAK TÜRKAN
AHMET SERHAN CANBOLAT
AKIN BURAK ETEMOĞLU
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

ISI YALITIM UYGULAMALARINDA ISI KÖPRÜSÜ ETKİSİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Numerical Investigation of Thermal Bridge Effects in Heat Insulation Applications

Burak TÜRKAN
Ahmet Serhan CANBOLAT
Akın Burak ETEMOĞLU

ÖZET

Enerji tüketimi, teknolojik gelişme ve hızla artan nüfusa paralel olarak tüm dünyada sürekli artmaktadır. Büyüyen enerji tüketimi ise ulusal harcamaların artışına ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda daha verimli enerji kullanımının dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, Avrupa ülkelerinde ve dünyada enerji tasarrufu için uygulanan ısı yalıtım konusu incelenmiştir. Optimum yalıtım kalınlığının bulunması hem enerji tasarrufu hem de ısıl konfor açısından önemlidir. Yapılan çalışmada duvarın dış ve iç yüzeyine uygulanan farklı kalınlıktaki yalıtım sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Duvarın hem dış hem de iç yüzeyinin sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Bunun için binalarda yalıtım etkisinin görülebileceği ısı köprüsünün olduğu kolon kiriş yapısı nümerik olarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre duvarın dış yüzeyine uygulanan yalıtım etkisinin, iç yüzeyine göre daha önemli olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Isı köprüsü, Yalıtım, Nümerik Çalışma, Comsol.

ABSTRACT

Energy consumption is constantly increasing all over the world in parallel with technological development and rapidly growing population. Growing energy consumption leads to increased national spending and environmental pollution. For this reason, more efficient energy use needs to be considered in the coming years. In this work, the heat insulation concept applied for energy saving in European countries and the world is examined. Optimum insulation thickness is important both for energy saving and thermal comfort. In the study conducted, insulation results at different thicknesses applied to the outer and inner surface of the wall were compared with each other. Temperature changes of both the outer and inner surfaces of the wall were obtained. For this, the column beam structure of the heat bridges in which the insulation effect can be seen in the buildings is numerically modeled. According to the obtained results, it is seen that the insulation effect applied to the outer surface of the wall is more important than the inner surface.

Key Words: Heat Bridge, Insulation, Numerical Study, Comsol.

1.GİRİŞ

Binalarda yapı iskelelerinde bulunan betonarme kolon kirişler yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu için bu kısımların ısı geçirgenliği daha fazla olmaktadır. Bu yüzeyler ısının soğuk tarafa iletildiği kısımlardır. Isıl dengenin korunamadığı bu yapılar ısı köprüsü olarak adlandırılmaktadır. Yazın bu kısımlarda sıcaklıklar artarken kışın azalmaktadır. Bu yapılarda oluşan ısı kayıpları sonucu yüzeyde nemlenme ve küf oluşumu görülmektedir. Yüzeylerde oluşan terleme ve küf oluşumu bina yapısının ömrünü de

olumsuz etkilemektedir. Ayrıca ısı köprüleri iç ortam ısı konforunu olumsuz etkilemekte ve enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden yüzey sıcaklıklarının yüksek tutulması gerekmektedir. Bu olumsuz etkileri azaltmak için yapı kabuklarında yalıtım uygulamaları yapılmaktadır [1,2]. Türkiye 'de öncelikle binalarda TS 825 ısı yalıtım yönetmeliği 14.06.1999 gün ve 23725 sayılı resmi gazetede yayımlanmış olup 14.06.2000 tarihinden itibaren uygulanmaya başlanmıştır. Ancak burada yasal bir zorunluluk bulunmamaktadır. 1 Ocak 2011 tarihli 5627 sayılı enerji verimliliği kanununa bağlı binalarda enerji performansı yönetmeliği ile 50 m² üzeri yapı alanına sahip tüm binalarda Enerji Kimlik Belgesi çıkarılması zorunlu hale getirilmiştir. Mevcut binalar için ise 2 Mayıs 2017 tarihine kadar enerji kimlik belgeleri almaları istenmiştir [3,4]. Sonuç olarak bu tarihten sonra enerji kimlik belgesi alınmayan binaların kiraya verilmesi, alım ve satımı gibi işlemlerin yapılamayacak olmasından dolayı bu belgenin sağlanması zorunludur. Bu yasal düzenleme ile 2023 yılında en az 10000000 konutta yalıtım ve enerji verimliliği standardının yakalanması hedeflenmektedir.

Yalıtım malzemeleri olarak genellikle taş yünü, cam yünü ve ahşap yünü gibi lifli malzemeler ile XPS ve EPS gibi polistren köpükler kullanılmaktadır. Özellikle dış yüzey yalıtım, iç yüzey yalıtım, çift duvar arası yalıtım uygulamaları ve havalandırılmalı dış duvar yalıtım uygulamaları yapılmaktadır. TS 825 ısı yalıtım yönetmeliğine göre ülkemiz derece gün bölgelerine ayrılarak her bir bölge için belli kalınlıkta yalıtım yapılması tavsiye edilmiştir. 1. derece gün bölgesi için 3 cm, 2. derece gün bölgesi için 5 cm, 3. derece gün bölgesi için 6 cm 4. derece gün bölgesi için ise 12 cm olarak belirlenmiştir [5]. Bursa 2. derece gün bölgesinde olduğu için 5 cm yalıtım kalınlığı seçilmesi uygundur. Bina yapısına en uygun yalıtım uygulaması ve optimum kalınlığın seçimi gerekli inceleme yapıldıktan sonra tespit edilmelidir.

İnsanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı alanlarda geçirmek zorundadır. Bu yüzden buldukları mahallin ısı konforunun sağlanması kişilerin sağlığı açısından önemlidir. Eğer bulunan ortamda ısı konfor sağlanmadan sıcaklık yüksek tutulsa bile diğer bir değişle yalıtımsız veya yalıtımı az soğuk duvar var ise insanlarda soğuk algınlığı ve romatizma gibi hastalıklara neden olabilir. Aynı zamanda insan sağlığına olumsuz etkisi yanında yakıt tüketiminin de artmasından dolayı ekonomik olarak zararlı olmaktadır [6]. Yapılacak yalıtım ile bu zararlı etkiler ortadan kaldırılırken aynı zamanda yapılan yakıt tasarrufu ile yalıtım maliyeti kısa sürede kendini amorti edecektir. Daha sonraki yıllarda ise bu kazanç tasarrufa dönüşebilecektir.

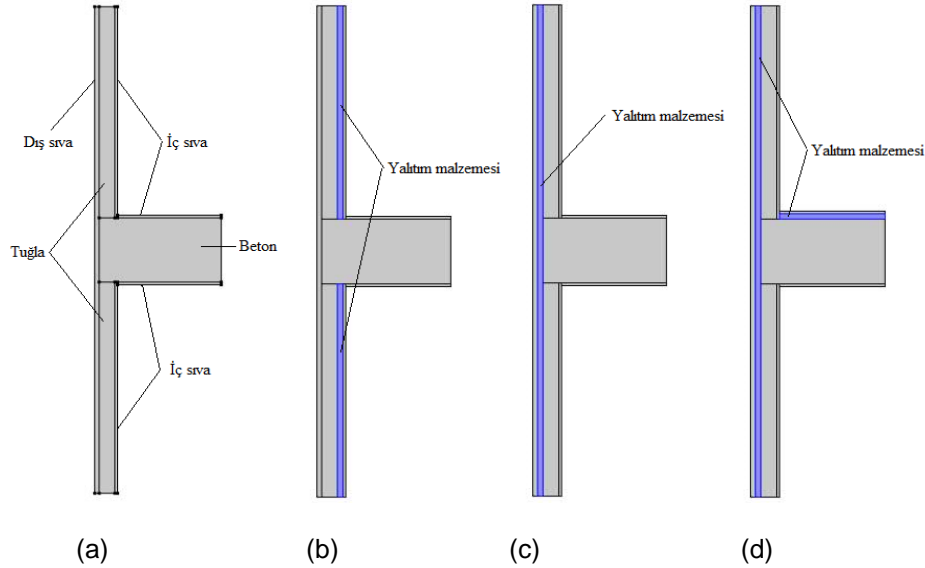
Literatürde ise ısı köprüsü, yalıtım performansını artırıcı çalışmalar ve optimum kalınlık problemleri çoğunlukla nümerik olarak incelenmiştir. Karabulut ve ark. [7] yaptıkları çalışmada farklı şekillerde yalıtımlı balkon uzantılı ve dıştan yalıtımlı ara kat döşemelerine ait sıcaklık ve ısı akısı değişimlerini nümerik olarak incelemişlerdir. En fazla ısı transferi miktarının kolon giriş bölgesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Dilmaç ve ark. [8] dıştan ve içten yalıtım uygulanması sonucu giriş ve döşemelerde oluşan ısı köprüsünün binanın ısı performansına olan etkisini nümerik olarak araştırmışlardır. Giriş ve döşemelerde oluşan ısı köprüsüne ait sıcaklık değişimlerini farklı yalıtım durumları için karşılaştırmışlardır. Song ve ark. [9] yaptıkları çalışmada çelik kafes yapılarında metal yalıtımı ile ısı köprüsünün azaltılmasına yönelik yeni bir alternatif çözüm geliştirmişlerdir. 3 boyutlu modelledikleri çelik yapıların içerisindeki sıcaklık dağılımlarını nümerik olarak elde etmişlerdir. Angelis and Serra [10] metal çerçeveli hafif duvarlardaki ısı yalıtım performansının değerlendirilmesi için sonlu eleman yazılımı kullanmışlardır. Asdrubali ve ark. [11] çalışmalarında binalarda oluşan ısı köprüsü tiplerinin analizini yapmak için bir (IR termografi) önermişlerdir. Bu yöntem ile ısı köprülerinin analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Nümerik ve deneysel çalışmalar ile bu yöntemin doğrulamasını yapmışlardır. Capozzoli ve ark. [12] ısı köprülerinin analizinde non-linear regresyon modeli geliştirmişlerdir. Anova yöntemi kullanarak çözüm sonuçlarını elde etmişlerdir. İbrahim ve ark. [13] yaptıkları çalışmada ısı köprüsü etkilerini incelemek için Matlab yazılımında geliştirilen 2 boyutlu ısı transferi denklemi ve EnergyPlus programını kullanmışlardır. İç ve dış yalıtım yapılması durumunda oluşan sonuçları karşılaştırmışlardır. Theodosiou ve Papadopoulos [14] enerji tüketimi üzerinde ısı köprülerinin etkisini araştırmışlardır. ısı köprülerinin oluşumunu en aza indirecek şekilde mevcut binaların tasarımının yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Gao ve ark. [15] yaptıkları çalışmada ısı köprüsü yapısını hesapları basitleştirmesi açısından bir boyutlu olarak modellemişlerdir. Bu modelin frekans yanıtı ve zaman açısından doğrulamasını TRNSYS programı ile yapmışlardır. Martin ve ark. [16] binanın enerji talebini bulmak için ısı köprülerinde gerçekleşen ısı transferi miktarını hesaplamışlardır. Farklı modeller oluşturup TRNSYS programında nümerik olarak sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Quinten ve Feldheim [17] binalarda enerji simülasyon programını kullanarak ısı köprülerinde meydana gelen ısı

transferi etkilerini incelemişlerdir. Marincioni ve ark. [18] içten yalıtımlı evde oluşan ısı kaybının, ısı köprüsü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Çalışmada öncelikle model doğrulaması yapılmıştır. Daha sonra bina yapı kabuğunda bulunan yalıtımsız ve farklı yalıtım tiplerine ait ara kat kolon kiriş yapısı nümerik olarak modellenmiştir. Isı yalıtımının iç duvar, dış duvar ile dış duvar ve taban yüzeyine uygulanması sonucu iç ortam yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. En uygun yalıtım kalınlığının seçilmesi için 3 cm -5 cm ve 7 cm yalıtım kalınlıkları sırası ile uygulanmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Analizde kullanılan kolon kiriş yapısına sahip bina Bursa'da bulunmaktadır. 1. kattaki daireye ait oturma odasının kolon kiriş yapısı Şekil 1 'de verilmiştir. Dairenin oturma odasının altı merdiven boşluğudur. Dış ortam sıcaklığı -6°C , oturma odasının sıcaklığı 22°C , merdiven boşluğunun sıcaklığı 10°C , iç ortam ısı taşınım katsayısı $8.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dış ortam ısı taşınım katsayısı $23.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilmiştir [19]. İç ortam bağıl nemi %45 (çiğ nokta sıcaklığı 9.5°C) olarak alınmıştır.



Şekil 1. Analizde kullanılan farklı yalıtım tiplerine ait ara kat kolon kiriş modelleri

Şekil 1'de verilen modeller sırası ile (a) yalıtımsız model, (b) içten yalıtım, (c) dıştan yalıtım, (d) dış ve taban yalıtımıdır. Ara kat kolon kiriş yapısında kullanılan malzemeler, kalınlıkları ve ısı iletim katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapı malzemelerinin özellikleri [4].

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Kalınlık(cm)
Düşey delikli tuğla	0.32	8.5
Beton	2.5	37
İç siva	0.7	1.5
Dış siva	1.6	2.5
Yalıtım levhası (XPS)	0.03	3-5-7

Yapı elemanı olarak kullanılan malzemeler TS EN 771-1, TS 11989 EN 13164, TS 500 standartlarına uygun olarak alınmıştır [4]. Modelin yalıtımsız haldeki ölçüleri ve ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir.

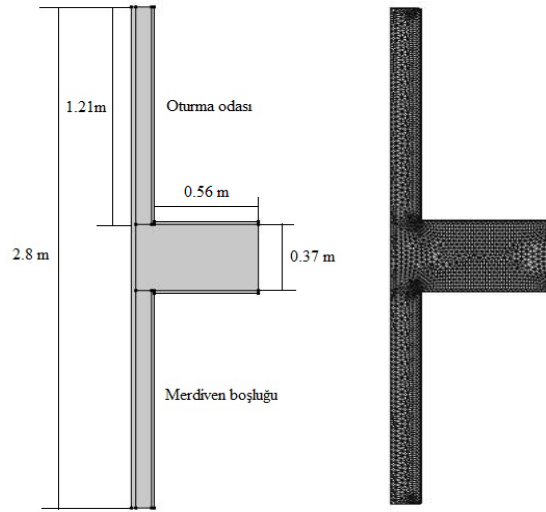
Modelde kullanılan ağ yapısı olarak programdaki en yüksek kalite seçilmiştir. Analizde kullanılan modellerde toplamda 3137-3939 aralığında üçgen ağ yapısı bulunmaktadır.

Analizlerde sonlu eleman metodu kullanılmıştır. Bunun için Comsol Multiphysics programında çözüm yapılmıştır. Yakınsama kriteri olarak 0.001 seçilmiş olup Newton metodu ile çözümlenme gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan Comsol Programı, kısmi diferansiyel denklemlerin (matematiksel modellerin) çözümüne dayalı mühendislik ve bilimsel modellerin oluşturulması ve çözümünde kullanılan multiphysics ve sonlu eleman (FEM) analizidir. Comsol programına PDE (Partial Differential Equation) tanımı yapılarak tüm model için istenen çözümler yapılabilir. Çözülecek problemin geometrisi, sınır şartları, materyal özellikleri ve değişkenleri yazılarak program aracılığı ile gerekli ağ yapısı seçilip çözümlenerek sonuçlar grafik şeklinde elde edilebilmektedir. Eğer mühendislik problemi için PDE denklemi elde edilmiş ise bunun programa girilerek değişkenlerinin tanımlanması ile çözüm yapılabilir [20].

Comsol da modelleme süreci 6 ana adımdan oluşmaktadır:

1. Model seçeneği modülünden uygulanmak istenen uygun model seçilir.
2. Model geometrisi çizim modülünden oluşturulur.
3. Fiziksel model için varsa kısmi diferansiyel denklemler girilir yoksa hazır olan denklemler seçilerek sınır ve başlangıç şartları ile materyal özellikleri tanımlanır.
4. Mesh modülünden istenen ağ yapısı seçilir.
5. Çözüm modülünden istenen şartlarda çözüm gerçekleştirilir.
6. Sonuç kısmında elde edilen grafik ve sonuçlar incelenir.



Şekil 2. Modele ait ölçüler ve ağ yapısı

2.1. Matematik model

Isı transferi gerçekleşebilmesi için sıcaklık farkının olması gerekmektedir. Isı transferi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. Isı bir akışkandan katı yüzeyine taşınım ile aktarılırken katı içerisinde iletimle transfer olmaktadır. Şekil 2'de verilen kolon giriş yapısında oturma odasının iç ortamından yan duvarına taşınım ile ve duvar içerisine iletimle ısı transfer edilirken, aynı ısı dış yüzeyden havaya taşınım ile aktarılır. Aynı şekilde oturma odasının tabanından merdiven boşluğuna doğru taşınım ve iletim ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Isı transferi için Fourier yasası kullanılarak katı içerisindeki enerji dengesi matematiksel olarak ifade edilebilmektedir [20].

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + \nabla \cdot (-k \nabla T) = 0 \quad (1)$$

Burada; ρ , yoğunluk (kg/m^3); c_p , özgül ısı (kJ/kgK); k , ısı iletim katsayısı (W/mK); T , sıcaklık(K) ve t , süre (saniye)'dir. Yapılan çalışma sürekli rejimde olduğu için zamana bağlı terimler sadeleşerek ısı transferi denklemi;

$$\nabla(-k\nabla T) = 0 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir.

2.1.1.Sınır koşulları

İç ortamda bulunan yüzey için sınır şartı;

$$h_i (T_y - T_i) = k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Oturma odasının iç taban yüzeyi için sınır şartı ise eşitlik (4) de verilmiştir.

$$h_i (T_i - T_y) = k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4)$$

Aynı zamanda oturma odasının iç yüzey duvarından dış ortam yüzeyine iletimle transfer edilen ısı havaya taşınım ile aktarılmaktadır. Kolon giriş yapısının dış duvar yüzeyi için sınır şartı;

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h_d (T_y - T_\infty) \quad (5)$$

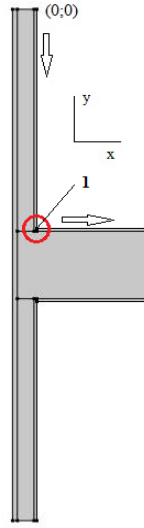
şeklinde ifade edilebilir. Burada, h_i iç ortam ısı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$), h_d dış ortam ısı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$), k ısı iletim katsayısı (W/mK), T_y yüzey sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), T_i iç ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$), T_∞ dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) 'dır [20].

Analizde yapılan basitleştirici kabuller aşağıda verilmiştir;

- Isı transferi sürekli rejimde gerçekleşmektedir.
- İç ve dış ortam ısı taşınım katsayıları sabit kabul edilmiştir.
- Radyasyon etkileri ihmal edilmiştir.
- İç ve dış ortam sıcaklıkları sabit kabul edilmiştir.
- Kompozit duvar malzemesi içerisinde ısı üretimi bulunmamaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

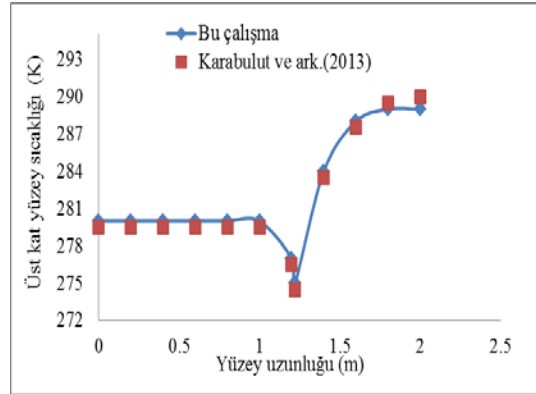
Çalışmada 4 farklı tip kolon giriş yapısı için nümerik analiz yapılmıştır. 2 boyutlu olarak modellenen kolon giriş yapısı için ısı transferi denklemleri çözülmüştür. Her bir modelde yalıtım kalınlıkları 3 cm-5 cm ve 7 cm alınmıştır. Her bir kolon giriş yapısında yalıtım kalınlığının etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda yalıtımın ısı transferi üzerine etkisi de araştırılmıştır. Analiz sonuçları olarak oturma odasının yüzeyine ait sıcaklık grafikleri verilmiştir. Grafiklerde iç yüzeyin tamamına ait sıcaklık değişimi incelenmiştir. Grafiklerde yatay eksen iç ortam yüzey uzunluğudur. İç ortamın yüzeyi için başlangıç koordinat noktası Şekil 3'de verilmiştir. Bu noktadan y eksenini boyunca aşağıya doğru inilmekte ve daha sonra x eksenini boyunca sağa doğru gidilmektedir.



Şekil 3. Model iç yüzeyine ait başlangıç noktası

3.1. Model doğrulaması

Çalışmada kullanılan yöntemin doğruluğunun karşılaştırılması için literatürde [7] sonlu eleman metodu kullanılarak sonuçların elde edildiği, yalıtımsız kolon kiriş çalışması modellenerek Comsol programında nümerik olarak çözülmüştür. Sonuçların karşılaştırılması Şekil 4’de verilmiştir.



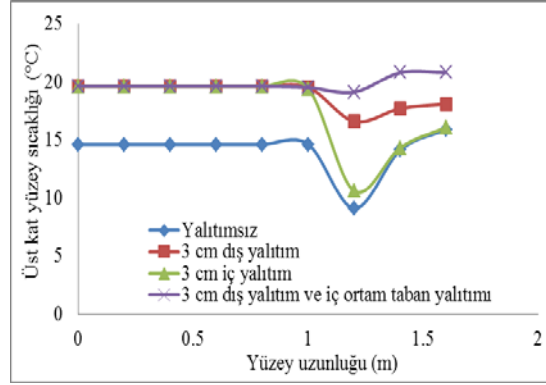
Şekil 4. Yüzey sıcaklığı sonuçlarının farklı bir çalışma ile karşılaştırılması

Elde edilen sonuçlara göre Comsol programında yapılan çözüm ile literatürdeki çalışmanın birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre yapılan çalışmada kullanılan yöntemin uygun olduğu söylenebilir.

3.2. Nümerik sonuçlar

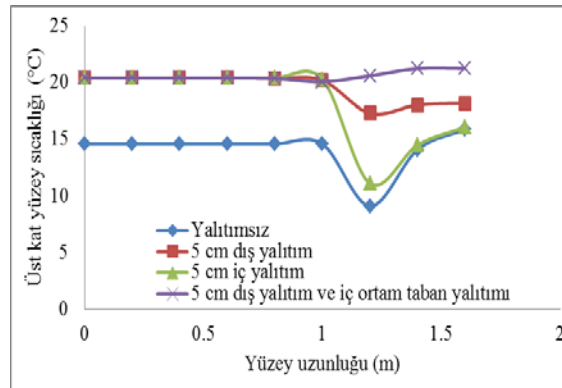
Analizde 4 farklı yalıtım tiplerine ait kolon kiriş yapısı (yalıtımsız, dış duvar yalıtımlı, iç duvar yalıtımlı, dış duvar ve iç ortam taban yalıtımlı) modellenerek iç ortam yüzey sıcaklığının değişimi incelenmiştir. Bütün kolon kiriş yapıları için yalıtım kalınlığı 3 cm-5 cm ve 7 cm alınmıştır. Şekil 5’de 3 cm yalıtım kalınlığına sahip farklı kolon kiriş yapıları için iç ortam yüzey sıcaklığının değişimi verilmiştir. Yalıtımsız duvarda sıcaklık değerinin düşük olduğu görülmektedir. 3 farklı yalıtım durumu için ise iç köşe noktasına kadar sıcaklık değerleri birbirine yakın olarak değişmektedir. Dış ve iç yalıtımlı durum için Şekil 3’de gösterilen 1 noktasında ani sıcaklık azalması gözlenmektedir. Daha sonra yüzey sıcaklığı artmaktadır. Bunun nedeni ise bu bölgede ısı köprüsünün oluşmasıdır. Ancak tabana da yalıtım eklendiği zaman bu durumun ortadan kalktığı görülmüştür. Yalıtımsız duvar, dış yalıtım, iç yalıtım, dış ve taban yalıtımı yapıldığı durumlarda en düşük sıcaklığın gözlemlendiği 1 noktasının sıcaklık

değerleri sırası ile 9.1°C, 16.6 °C, 10 °C ve 19.1 °C dir. İç yalıtım durumunda kolon giriş köşe noktasının sıcaklığının yalıtımsız durum ile neredeyse aynı olduğu görülmektedir. İç ortam çığ nokta sıcaklığı 9.5°C olduğu için yalıtımsız durumda köşe noktada ısı köprüsü oluşmakta ve yoğunlaşma meydana gelmektedir. Yalıtımsız durumda dış duvar sıcaklığı 14.6 °C iken yalıtımlı yapılarda 19.6 °C olarak hesaplanmıştır. İç ortam taban yüzeyinin sıcaklık değerleri ise yalıtımsız, dış yalıtım, iç yalıtım, dış ve taban yalıtımlı durumlar için sırası ile 15.9°C, 18.1°C, 16.1°C ve 20.8 °C'dir.



Şekil 5. Farklı yalıtım tiplerine ait kolon giriş yapıları için 3 cm yalıtım kalınlığında iç yüzey sıcaklık değişimi

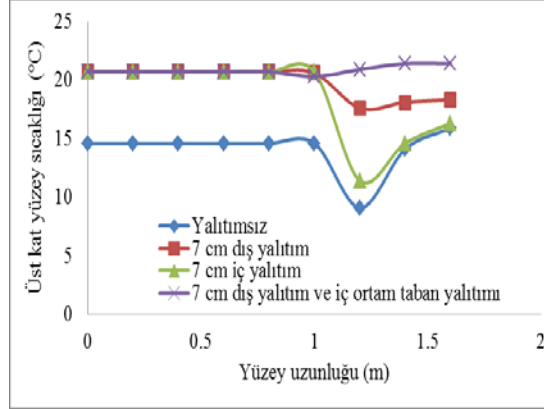
Şekil 6'da farklı kolon giriş yapıları için 5 cm yalıtım kalınlığı etkileri görülmektedir. Burada yalıtımlı durumlarda dış yüzey sıcaklığı 20.4°C 'dir. En düşük sıcaklığın görüldüğü kolon giriş köşe noktasının sıcaklık değerleri dış yalıtım , iç yalıtım, dış ve taban yalıtımlı durumları için 17.3 °C, 11.1 °C ve 20.6 °C dir. İç yalıtımlı durum için sıcaklığın köşe noktasında yalıtımsız duruma en yakın olduğu görülmektedir. En fazla ısı kaybının bu noktada meydana geldiği söylenebilir. Çünkü en yüksek sıcaklık farkı bu noktada oluşmaktadır. Ancak dış yalıtım ile dış ve taban yalıtımlı durumlarda köşe noktasının ısı kaybı azaltılmakta ve sıcaklık düşüşü engellenmektedir. Yalıtımsız durumda dış duvar sıcaklığı 14.6 °C iken yalıtımlı yapılarda 20.4 °C olarak hesaplanmıştır. İç ortam taban yüzeyinin sıcaklık değerleri ise yalıtımsız, dış yalıtım, iç yalıtım, dış ve taban yalıtımlı durumlar için sırası ile 15.9°C, 18.2°C, 16.1°C ve 21.2 °C'dir.



Şekil 6. Farklı yalıtım tiplerine ait kolon giriş yapıları için 5 cm yalıtım kalınlığında iç yüzey sıcaklık değişimi

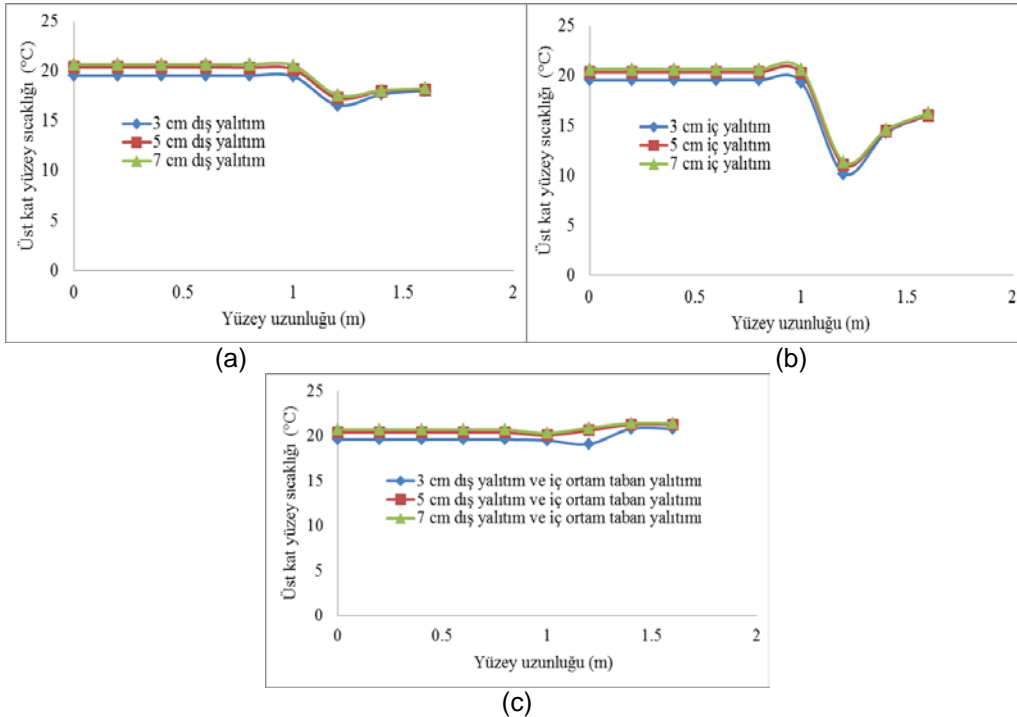
Yalıtım kalınlığı 2 cm daha artırılarak farklı kolon giriş yapıları için iç ortam yüzey sıcaklık değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi diğer yalıtım kalınlıklarında elde edilen değişimlere benzer eğilim tespit edilmiştir. Kolon giriş kritik noktasında meydana gelen ısı köprüsünden dolayı sıcaklık azalması meydana gelmiştir. Ancak sıcaklık değerleri yalıtım kalınlığındaki artıştan dolayı biraz yükselmiştir. En düşük sıcaklığın görüldüğü kolon giriş köşe noktasının sıcaklık değerleri dış, iç, dış ve taban yalıtımlı durumları için 17.6 °C, 11.4 °C ve 20.9 °C dir. Sıcaklık değerlerini karşılaştıracak olursak, yalıtımsız durumda dış duvar sıcaklığı 14.6 °C iken yalıtımlı yapılarda 20.7 °C olarak hesaplanmıştır. İç ortam taban yüzeyinin sıcaklık değerleri ise yalıtımsız, dış yalıtım, iç yalıtım, dış ve

taban yalıtımlı durumlar için sırası ile 15.9°C, 18.3°C, 16.3°C ve 21.4 °C'dir. Şekil 4-5 ve 6'da görüldüğü gibi zeminden ısı kaybının olduğu mahallerde yalıtımın sadece iç veya dış yüzeye yapılması yerine hem dış hem de iç ortam taban yüzeyine yapılması ortamdaki ısı kayıplarını minimuma indirmektedir. Bu şekilde yapılacak uygulama ile oluşabilecek ısı köprüsü engellenmiş olur.



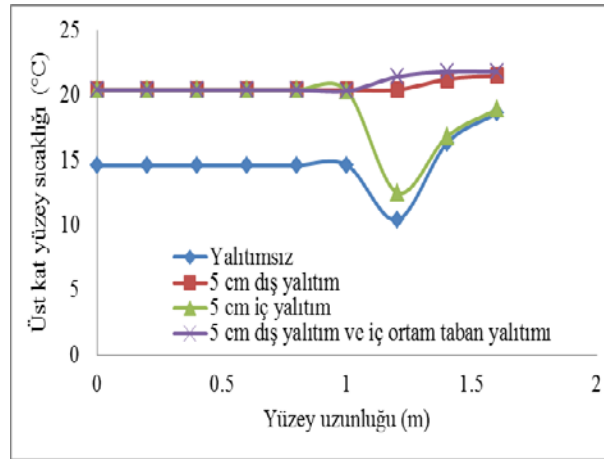
Şekil 7. Farklı yalıtım tiplerine ait kolon giriş yapıları için 7 cm yalıtım kalınlığında iç yüzey sıcaklık değişimi

Yalıtım kalınlıklarının yüzey sıcaklıkları üzerine etkisi Şekil 8'de görülmektedir. Burada her bir kolon giriş yapısı için yüzey sıcaklıklarının farklı yalıtım kalınlıklarına göre değişimi verilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttırıldıkça ısı kaybı azaldığı için yüzey sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. 7 cm den 5 cm ye yalıtım kalınlığı azaltıldığında yüzey sıcaklık değerleri ortalama %1 azalmıştır. Aynı şekilde 5 cm ile 3 cm arasındaki yüzey sıcaklıklarında %3'lük azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre 5 cm yalıtım kalınlığının seçilmesinin maliyet açısından daha uygun olabileceği söylenebilir. Aynı zamanda Bursa 2. derece gün bölgesinde bulunduğu için TS 825 ısı yalıtım standartlarına göre optimum yalıtım kalınlığı 5 cm olarak belirlenmiştir. [5]



Şekil 8. Farklı yalıtım kalınlıklarına ait kolon giriş yapıları için iç yüzey sıcaklık değişimi (a- dış yalıtım, b- iç yalıtım, c- dış yalıtım ve iç ortam taban yalıtımı)

Daha önce merdiven boşluğunun üzerindeki oturma odasına ait yüzey sıcaklıklarının değişimi incelenmişti. Eğer dairemiz ara katta ise alt ve üst katlarında aynı sıcaklıklarda mahal bulunduğu durumlarda hangi yalıtım türü seçilmesi uygun olabilir. Bu sorunun cevabını bulmak için ara kata ait kolon kiriş yapısı modellenerek Bursa için uygun olarak seçilen 5 cm yalıtım kalınlığına göre analizler yapılmıştır. Şekil 9'da elde edilen sonuçlara göre iç yalıtımın uygun olmadığı görülmektedir. Dış yalıtım ve dış yüzey ile taban yalıtımına ait kolon kiriş köşe noktasının sıcaklık değerlerinde azalma meydana gelmemiştir. Dış yalıtım ile dış ve iç taban yalıtımı yapılması durumunda iç yüzey sıcaklıkları arasında yaklaşık %1'lik küçük bir fark oluşmaktadır. Sadece iç yalıtım uygun değildir bununla beraber ek yalıtımda yapılmalıdır. Elde edilen bu sonuçlara göre ara kata ait kolon kiriş yapıları için sadece dış yalıtım yapılması uygundur. Bu şekilde oluşabilecek ısı köprülerinin önüne geçilmiş olur. Eğer binamız yalıtımsız veya eksik yalıtıma sahip ise o zaman yapı kabuğunda gerilmeler ve çatlamlar oluşabilir. Bu yüzden ara katlarda dış yalıtım sistemi birçok avantaja sahip olduğu için kullanılması tavsiye edilmektedir [1,2].



Şekil 9. Farklı yalıtım tiplerine ait kolon kiriş yapıları için 5 cm yalıtım kalınlığında iç yüzey sıcaklık değişimi

4. SONUÇ

Çalışmada modellenen kolon kiriş yapısının doğrulanması için farklı bir çalışma ile kıyaslama yapılmıştır. Daha sonra modele ait farklı yalıtım türleri için kolon kiriş yapıları oluşturularak 3 cm-5 cm ve 7 cm yalıtım kalınlıklarına ait analizler yapılmıştır. Elde edilen iç ortam yüzey sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bazı sonuçlar şu şekildedir:

- Bursa'da bulunan bir binaya ait 1. katındaki dairenin dış yüzeyine ve iç döşemesine yalıtım yapılması ısı köprüsünün oluşmaması açısından gereklidir.
- Eğer daire ara katta bulunuyorsa ısı köprüsü oluşmaması için sadece dış yalıtım yapılması yeterlidir.
- TS 825 standartlarına göre Bursa ili için belirlenmiş yalıtım kalınlığı yapılan analiz ile doğrulanmış olup 5 cm seçilmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Binalarda ısı yalıtımı yapılması ısıl konfor, enerji tasarrufu ve insan sağlığı açısından önemlidir. TS 825 standartlarına göre yalıtım kalınlıkları mevcut binalarda ve yeni yapılacak yapılarda kesinlikle uygulanmalı ve bina sahipleri bu konuda bilinçlendirilmelidir. Aynı zamanda yapılacak yalıtım ile yapı kabuğunda oluşabilecek nem ve küf engellenerek binanın ömrü uzatılmaktadır. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığının seçilmesi, ısıtma ihtiyacı için daha düşük yakıt tüketim bedeli ve yalıtıma yapılacak yatırım maliyeti açısından da önemlidir.

- İdeal yalıtım kalınlığından sonra yapılan artışın iç ortam yüzey sıcaklığına etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür. Bu yüzden yalıtım kalınlığının artırılması (10 cm önerilmesi) yönünde ilgili sektörlerin yapmış olduğu uyarıların nedenleri incelenmeli ve maliyet ile enerji tasarrufu açısından en uygun yalıtım kalınlığının tespit edilebilmesi için kullanılan yapı sistemlerinin ısıl davranışları nümerik ve deneysel olarak araştırılmalıdır. Sadece deneysel olarak her ilde yıl boyunca iç ortamın ve yapı kabuğunun ısıl davranışları ile sıcaklık değişimlerinin tespit edilmesi oldukça zor olacağı için yapı elemanları daha çok nümerik olarak modellenmelidir. Bu sayede kısa zamanda en uygun sonuçlar elde edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] SEZER, F. Ş., YEŞİLYURT, N. K., “ Türkiye’deki Çift Duvar Arası Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 16, Sayı 1, 2011.
- [2] SEZER, F.Ş., CİHAN, M.T., “Dışarıdan Yalıtımlı Binaların Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, 2010.
- [3] BEP,” Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”, Ankara,2011.
- [4] TS 825,” Binalarda ısı yalıtım kuralları”, Türk standartları enstitüsü, Ankara,2009.
- [5] SEZER,F.Ş., “Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri” Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 2005.
- [6] SARYAL, N., “Duvar Isı Yalıtımının İnsan Sağlığı Yönünden Önemi”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi,6,1,37-39,1983
- [7] KARABULUT, K., BUYRUK, E., FERTELLİ, A.,” Katlar Arası Farklı İç Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Isı Köprülerindeki Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, Tesisat Mühendisliği - Sayı 137 - Eylül/Ekim 2013.
- [8] DİLMAÇ, Ş., CAN, A., SEZER, F.Ş., ”Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçeriden ve Dışarıdan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, Tesisat Mühendisliği, Mart-Nisan 2004.
- [9] SONG, J.H., LIM J. H., SONG, S.Y., “Evaluation of Alternatives For Reducing Thermal Bridges in Metal Panelcurtain Wall Systems”, Energy and Buildings, 127, 138–158,2016.
- [10] ANGELİS, E., SERRA, E.,”Light Steel-Frame Walls: Thermal İnsulation Performances and Thermal Bridges”, Energy Procedia, 45, 362 – 371,2014.
- [11] ASDRUBALİ, F., BALDİNELLİ, G., BIANCHİ, F., “A Quantitative Methodology to Evaluate Thermal Bridges İn Buildings”, Applied Energy, 97, 365–373,2012.
- [12] CAPOZZOLİ, A., GORRİNO, A., CORRADO, V.,” A Building Thermal Bridges Sensitivity Analysis”, Applied Energy, 107, 229–243,2013.
- [13] İBRAHİM, M., BIWOLE, P.H., WURTZ, E., ACHARD, P.,” Limiting Windows Offset Thermal Bridge Losses Using a New İnsulating Coating”, Applied Energy, 123, 220–231,2014.
- [14] THEODOSİOU, T.G., PAPADOPOULOS, A.M., “The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions” ,Energy and Buildings, 40, 2083–2089,2008.
- [15] GAO, Y., ROUX, J.J., ZHAO, L.H., JIANG, Y., “Dynamical building simulation: A low order model for thermal bridges losses “, Energy and Buildings, 40, 2236–2243,2008.
- [16] MARTIN, K., ERKOREKA, A., FLORES, I., ODRIOZOLA, M., SALA, J. M.,”Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions”, Energy and Buildings, 43, 529–535,2011.
- [17] QUINTEN, J., FELDHEIM, V., “Dynamic modelling of multidimensional thermal bridges in buildingenvelopes: Review of existing methods, application and new mixedmethod”, Energy and Buildings, 110, 284–293,2016.
- [18] MARINCIONI, V., MAY, N., ALTAMİRANO-MEDİNA, H., “Parametric study on the impact of thermal bridges on the heat loss of internally insulated buildings”, Energy Procedia, 78, 889–894,2015.
- [19] CAN ,M., AVCI, A., ETEMOĞLU, A.B., “Teknik Tesisat El Kitabı” ,Dora yayınevi, BURSA, 2008.
- [20] COMSOL MULTİPHYSİCS 5.2.a,” Heat Transfer Module User’s Guide”, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Burak TÜRKAN

1988 yılında Bursa'da doğdu. 2005-2009 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2010 yılında Bayburt Üniversitesi Enerji Anabilim Dalı'na ÖYP'li Arş. Gör. olarak atandı. Daha sonra 2011 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne yüksek lisans ve doktora programını yapmak üzere görevlendirildi. 2014 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayıp aynı yıl doktora programına kayıt oldu. Halen doktora eğitimine devam etmektedir.

Ahmet Serhan CANBOLAT

1990 yılında İstanbul'da doğdu. 2012 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Yüksek Lisans derecesini aldı ve doktora eğitimine başladı. 2013 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayan Ahmet Serhan Canbolat görevine ve doktora çalışmalarına devam etmektedir.

Akın Burak ETEMOĞLU

1994'te Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1995 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 1996 yılında Yüksek Mühendis, 2003'de ise Doktor unvanlarını aldı. Isı ve kütle transferi uygulamaları, kurutma, enerji ekonomisi, ekserji uygulamaları, çarpan hava jetleri ile ısı transferinin artırılması, elektronik elemanların soğutulması vb. konularda çalışmalar yaptı. 2008 yılında Doçent, 2013 yılında ise Profesör unvanlarını aldı. 1995 yılından beri Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.