



**Burak Türkan, Ahmet Serhan Canbolat,  
Akın Burak Etemoğlu, Ömer Kaynaklı**

Uludağ University, Bursa-Turkey  
burak@uludag.edu.tr; ascanbolat@uludag.edu.tr; aetem@uludag.edu.tr;  
kaynakli@uludag.edu.tr

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0138">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0138</a>	
ORCID ID	0000-0002-4019-7835	0000-0002-0423-6411
	0000-0001-8022-1185	0000-0002-9763-6464
CORRESPONDING AUTHOR	Burak Türkan	

## TÜRKİYE'DEKİ TÜM İLLER İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ NÜMERİK İNCELENMESİ

### ÖZ

Son yıllarda dünyada enerji tasarrufu konusunun artan nüfus ile birlikte ciddi derecede öneme sahip olduğu görülmektedir. Özellikle binalarda yalıtım ile önemli derecede enerji tasarrufu sağlanması bu konuya olan ilgiyi daha da artırmıştır. Bu sebepten ülkemizde uygulamaya konulan yalıtım yönetmeliği ile 2023 yılında en az 10 milyon konutta yalıtım ve enerji verimliliği standardının yakalanması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmada Türkiye'deki bütün illere ait 65 yıllık sıcaklık ortalamaları alınarak her bir il için optimum yalıtım kalınlıkları araştırılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıklarının tespitinde çok konforlu durum şartı göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçların nümerik olarak elde edilmesi için kolon kiriş yapısı Comsol programında 2 boyutlu modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin yalıtım kalınlığı haritası oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Isı köprüsü, Yalıtım, Nümerik Çalışma, Optimizasyon, Optimum Yalıtım

## NUMERICAL INVESTIGATION OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS FOR ALL CITIES IN TURKEY

### ABSTRACT

In recent years, it has been observed that the world of energy saving has a serious level of conservation with increasing population. Especially the fact that the amount of energy saving provided by the insulation in the buildings is at a considerable level has further increased the interest in this issue. For this reason, it is aimed to obtain insulation and energy efficiency standard in at least 10 million houses in 2023 with the insulation regulation put into practice in our country. In the study conducted, the average temperatures of 65 years belonging to all the cities in Turkey were taken and optimum insulation thicknesses were investigated for each city. A very comfortable condition has been taken into consideration in the determination of optimum insulation thicknesses. In order to obtain the numerical results, the column beam structure is modeled 2-dimensionally in Comsol programme. According to the results obtained, an insulation thickness map of Turkey was established.

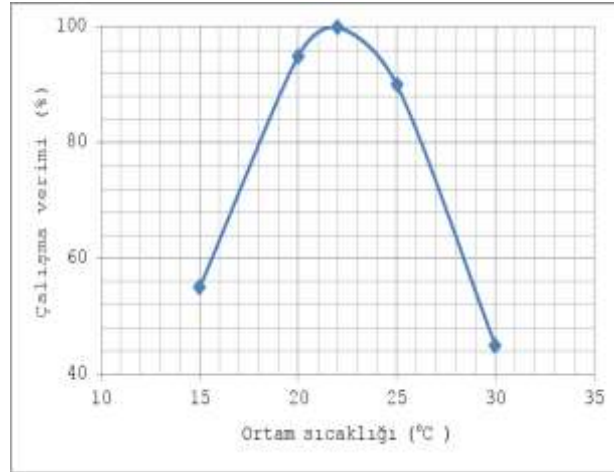
**Keywords:** Heat Bridge, Insulation, Numerical Study, Optimization

### How to Cite:

Türkan, B., Canbolat, A.S., Etemoğlu, A.B. ve Kaynaklı, Ö., (2018). Türkiye'deki Tüm İller İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Nümerik İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(2):75-88, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0138.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı köprüleri binanın ısıl direncinin değiştiği, kolon kiriş gibi yapı elemanlarının ısı iletkenliğinin tuğla beton gibi yapı elemanlarından yüksek olduğu kısımlarda oluşmaktadır. Yazın bu kısımlarda sıcaklıklar artarken kışın azalmaktadır. Ortaya çıkan ısı kayıpları sonucu yüzeyde nem oluşumu görülebilmektedir. Yüzeylerde oluşan terleme ve küf oluşumu bina yapısının ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bir duvardaki yapı elemanlarının toplam ısıl geçirgenlik direnci ile iç yüzey sıcaklığı doğru orantılıdır. Ancak ısı köprüleri bu direnci zayıflatmaktadır. Bunun sonucu olarak iç yüzey sıcaklığı da düşmektedir. İç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasında ortaya çıkan bu sıcaklık farkı ısıl konforu da olumsuz etkilemekte ve enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden iç yüzey sıcaklıklarının yüksek tutulması gerekmektedir [1 ve 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 [3 ve 4]. 1990 yılı itibari ile Türkiye'de 3cm, İtalya'da 5.5cm Fransa'da 10cm Almanya'da 6cm ve İngiltere'de 5cm yalıtım kalınlıkları uygulanmakta idi. Ancak günümüzde 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 3cm, 2. derece gün bölgesi için 5cm, 3. derece gün bölgesi için 6cm 4. derece gün bölgesi için ise 12cm olarak belirlenmiştir [5]. Çağın getirdiği zorunluluklar nedeniyle bir kısım insanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı alanlarda geçirmek zorundadır. İnsanlar kapalı ortamda buldukları için ortam sıcaklığı çalışma verimlerini etkilemektedir. Şekil 1'de sıcaklık ile çalışma verimi arasındaki ilişki verilmiştir [6]. Aynı zamanda mahallin ısıl konforlu olması kişilerin sağlığı açısından da önemlidir.



Şekil 1. Sıcaklığın çalışma verimine etkisi  
(Figure 1. Effect of temperature on working efficiency)

Eğer bulunulan ortamda sıcaklık yüksek tutulsa bile yalıtımsız veya az yalıtılmış soğuk duvar var ise soğuk algınlığı ve romatizma gibi hastalıklara neden olabilir. Isıl konforsuzluktan dolayı insan hasta olursa bu durum iş verimini etkileyecektir. Aynı zamanda yakıt tüketiminin de artmasından dolayı ekonomik olarak zararlı olacaktır [7]. İç ortamın konfor şartlarında tutulması insan sağlığını olumlu etkilemenin yanı sıra yakıt tüketimini de azaltarak ekonomik kazanç sağlayacaktır. Bu yüzden ısıl konfor sağlamak için yalıtım yapılması gerekmektedir. Konfor ortamının belirlenmesinde iç yüzey sıcaklığı



önemli bir parametredir. İç yüzey sıcaklığı, iç ve dış ortam sıcaklıklarına, ısı taşınım katsayılarına ve yapı malzemesinin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Tablo 1'de verilen çok konforlu durum şartı için iç yüzey ile ortam arasında 2°C lik sıcaklık farkının olması tavsiye edilmektedir. Tablo 1'de konfor şartları için yüzey sıcaklığı ( $T_{iy}$ ) ile iç ortam sıcaklığı ( $T_i$ ) arasındaki fark değerleri verilmiştir [8].

Tablo 1. Konfor durumları için iç ortam ile yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın değişimi [8]

(Table 1. Change in the difference between interior temperature and surface temperatures for comfort conditions [8])

$T_i - T_{iy}$ (°C)	Konfor Durumu
2	Çok Konforlu
3	Konforlu
4	Az Konforlu
6	Konforsuz
8.5	Soğuk
>8.5	Çok Soğuk

Konfor şartlarını sağlamak için yapı bileşenleri seçildikten sonra iç yüzey sıcaklığı değişimi incelenebilir. Isıl konforu, ortamın ve yüzeyin sıcaklığı, nemi ve hızı etkiler. Termografiyle ısı köprülerin tespit edilebilmesi için ısı iletkenliğinin kritik seviyesinin bilinmesi gerekir. Bu sebepten uluslararası enerji ajansı ısı köprülerin tespiti için kritik sıcaklık faktörü yöntemini geliştirmişlerdir. Kritik sıcaklık faktörü değeri her ülkenin kendi tasarım kriterlerine bırakılmıştır. Bu değer literatürde aynı zamanda sıcaklık oranı, sıcaklık indeksi ve yoğuşma direnci olarak da ifade edilmektedir [9]. Dünyada bulunan bazı ülkelere ait kritik sıcaklık faktörü değerleri Tablo 2'de verilmiştir [10 ve 16].

Tablo 2. Bazı ülkelerin kritik sıcaklık faktörü değerleri  
(Table 2. Critical temperature factor values for some countries)

Ülke	Kritik Sıcaklık Faktörü $f_{Rsi}$	Ülke	Kritik Sıcaklık Faktörü $f_{Rsi}$
Belçika	$\geq 0.7$	İsviçre	$\geq 0.75$
Hollanda	$\geq 0.65$	Birleşik Krallık	$\geq 0.75$
Fransa	$\geq 0.52$	Finlandiya	Zemin için $\geq 0.97$ Duvar için $\geq 0.87$
Almanya	$\geq 0.7$		

Duvarlarda ısı köprüsü ile birlikte yoğuşma oluşmaması için Tablo 2 de verilen kritik değer üzerine çıkılması gerekmektedir. Literatürde ise ısı köprüsü, yalıtım performansını artırıcı çalışmalar ve optimum kalınlık problemleri çoğunlukla nümerik olarak incelenmiştir. Martin ve ark. binanın enerji talebini bulmak için ısı köprülerinde gerçekleşen ısı transferi miktarını hesaplamışlardır. Farklı modeller oluşturup TRNSYS programında nümerik olarak sonuçlarını karşılaştırmışlardır [17]. Kalamees yaptığı çalışmada Estanya da bulunan yapılarda ısı köprülerini değerlendirmek ve tasarım kriterlerini belirlemek için kritik sıcaklık faktörü değerini araştırmışlardır [9]. Karabulut ve ark. binalarda yapılan yalıtımın kalınlığının ve konumunun ısı köprüsü üzerine olan etkilerini araştırmışlardır [18]. Salgon ve Neveu 2 boyutlu olarak ısı köprüsünü modelleyip ısı transferi değişimini incelemişlerdir [19]. Quinten ve Feldheim binalarda enerji simülasyon programını kullanarak ısı köprülerinde meydana gelen ısı transferi etkilerini incelemişlerdir

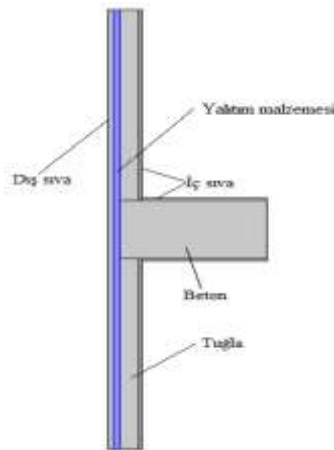
[20]. Marincioni ve ark. içten yalıtımlı evde oluşan ısı kaybının, ısı köprüsü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [21]. Theodosiou ve Papadopoulou ısı köprülerinin enerji tüketimi üzerinde etkisini araştırmışlardır. Mevcut binaların tasarımının Isı köprülerinin oluşumunu en aza indirecek şekilde yapılması gerektiğini vurgulamışlardır [22]. Dilmaç ve ark. dıştan ve içten yalıtım uygulanması sonucu giriş ve döşemelerde oluşan ısı köprüsünün binanın ısıl performansına olan etkisini nümerik olarak araştırmışlardır. Giriş ve döşemelerde oluşan ısı köprüsüne ait sıcaklık değişimlerini farklı yalıtım durumları için karşılaştırmışlardır [23]. Song ve ark. yaptıkları çalışmada çelik kafes yapılarında metal yalıtımı ile ısı köprüsünün azaltılmasına yönelik yeni bir alternatif çözüm geliştirmişlerdir. Üç boyutlu modelledikleri çelik yapıların içerisindeki sıcaklık dağılımlarını nümerik olarak elde etmişlerdir [24]. İbrahim ve ark. 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 [25].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada Türkiye'deki tüm iller için optimum yalıtım kalınlığının nümerik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada Türkiye'de bulunan her ile ait optimum yalıtım kalınlıkları çok konforlu durum göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Öncelikle kolon giriş yapısı Comsol programında 2 boyutlu modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Isıl konfor şartına göre Türkiye'nin sıcaklık faktörü değeri hesaplanmıştır. Son olarak farklı alt kat ortam sıcaklık değerlerinin üst kat iç yüzey sıcaklık değişimine olan etkisi araştırılmıştır.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Ara kattaki daireye ait oturma odasının kolon giriş yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Oturma odasının sıcaklığı 22°C, iç ortam ısı taşınım katsayısı 8.2W/m<sup>2</sup>K, dış ortam ısı taşınım katsayısı 23.3W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır [26]. Her şehir için alınan 1950-2015 yılları arası ocak ayı en düşük sıcaklık ortalamaları ise Tablo 3'de verilmiştir [27]. Şekil 2'de iç sıva, dış sıva, yalıtım malzemesi, tuğla ve beton yapı elemanlarından oluşan yalıtımlı model verilmiştir.



Şekil 2. Analizde kullanılan ara kat kolon giriş modeli  
(Figure 2. Column beam model used in the analysis)



Tablo 3. 1950-2015 yılları arası Türkiye'deki her ilin ocak ayı en düşük sıcaklık ortalamaları  
 (Table 3. The lowest temperature averages in January for each city in Turkey between 1950 and 2015)

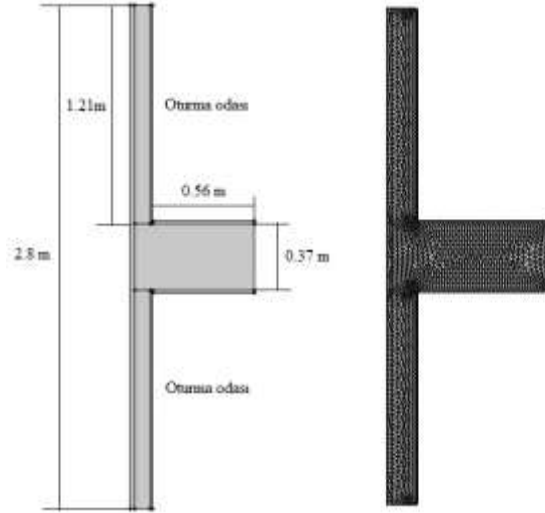
Şehir	Dış Sıcaklık (°C)	Şehir	Dış Sıcaklık (°C)	Şehir	Dış Sıcaklık (°C)
Ankara	-3	Edirne	-0.6	Malatya	-3
Adana	5.5	Elazığ	-4	Manisa	3.1
Adıyaman	1.3	Erzincan	-7	Mardin	0.5
Afyonkarahisar	-3.4	Erzurum	-14.3	Mersin	6.3
Ağrı	-15.9	Eskişehir	-3.5	Muğla	1.6
Aksaray	-3.6	Gaziantep	-0.8	Muş	-11.1
Amasya	-0.9	Giresun	4.7	Nevşehir	-3.8
Antalya	6	Gümüşhane	-5.7	Niğde	-4.5
Ardahan	-17	Hakkâri	-8.1	Ordu	3.8
Artvin	-0.2	Hatay	4.7	Osmaniye	3.4
Aydın	4.3	Iğdır	-8.1	Rize	3.6
Balıkesir	1.3	Isparta	-1.8	Sakarya	2.9
Bartın	0.3	İstanbul	3.2	Samsun	4.2
Batman	-1.5	İzmir	5.9	Siirt	-0.6
Bayburt	-10.8	Kahramanmaraş	1.3	Sinop	4.7
Bilecik	-0.3	Karabük	-0.5	Sivas	-7
Bingöl	-6.1	Karaman	-3.8	Şanlıurfa	2.2
Bitlis	-6.4	Kars	-16	Şırnak	-1.1
Bolu	-3.2	Kastamonu	-4.3	Tekirdağ	2.1
Burdur	-0.8	Kayseri	-6.8	Tokat	-1.7
Bursa	1.7	Kırıkkale	-2.9	Trabzon	4.7
Çanakkale	3.2	Kırklareli	0	Tunceli	-5.7
Çankırı	-4	Kırşehir	-4.1	Uşak	-1.2
Çorum	-4.2	Kilis	2.2	Van	-7.7
Denizli	2.3	Kocaeli	3.3	Yalova	3.3
Diyarbakır	-2.3	Konya	-3.9	Yozgat	-5.2
Düzce	0.4	Kütahya	-3.2	Zonguldak	3.6

Şekil 2'de verilen modellerin ara kat kolon kiriş yapısında kullanılan malzemeler, kalınlıkları ve ısı iletim katsayıları ise Tablo 4'de verilmiştir [4 ve 28].

Tablo 4. Yapı malzemelerinin özellikleri  
 (Table 4. Properties of building materials)

Malzeme	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Kalınlık (cm)
Düsey Delikli Tuğla	0.32	8.5
Beton	2.5	37
İç Sıva	0.7	1.5
Dış Sıva	1.6	2.5
Yalıtım Levhası (XPS)	0.03	3-4-5-6

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 3'de verilmiştir. Modelde ağ yapısı olarak programdaki en yüksek kalite seçeneği seçilmiştir. Analizde kullanılan modellerde toplamda 3755-3776 aralığında üçgen ağ yapısı bulunmaktadır. Analizlerde sonlu eleman metodu kullanılmış ve Comsol Multiphysics programında çözüm yapılmıştır. Yakınsama kriteri olarak 0.001 seçilmiş olup Newton nonlinear metodu ile çözümleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Modele ait ölçüler ve ağ yapısı  
(Figure 3. Measurements and mesh structure of the model)

### 3.1. Matematik Model (Mathematical Model)

Şekil 3’de verilen kolon kiriş yapısında oturma odasının iç ortamından yan duvarına taşınım ve duvar içerisine iletimle ısı transfer edilirken, dış yüzeyden havaya taşınım ile aktarılır. Isı transferi için Fourier yasası kullanılarak katı içerisindeki enerji dengesi matematiksel olarak ifade edilebilmektedir [29].

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

$\rho$ : Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )

$t$ : Süre (saniye)

$k$ : Isı İletim Katsayısı ( $\text{W/mK}$ )

$T$ : Sıcaklık (K)

$c_p$ : Özgül Isı ( $\text{kJ/kgK}$ )

Yapılan çalışma sürekli rejimde olduğu için zamana bağlı terimler sadeleşerek ısı transferi denklemi;

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

şeklinde yazılabilir.

#### 3.1.1. Sınır Koşulları (Boundary Conditions)

İç ortamda bulunan yüzey için sınır şartı;

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

$T_i$ : İç Ortam Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_y$ : Yüzey Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$k$ : Isı İletim Katsayısı ( $\text{W/mK}$ )

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

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

$h$ : İç ortam ısı taşınım katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )’dır. Aynı zamanda oturma odasının iç yüzey duvarından dış ortam yüzeyine iletimle transfer edilen ısı havaya taşınım ile aktarılmaktadır. Kolon kiriş yapısının dış duvar yüzeyi için sınır şartı;

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

$h_d$ : Dış Ortam Isı Taşınım Katsayısı ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )

$T_{\infty}$ : Dış Ortam Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )’dır [29].

### 3.1.2. Kritik Sıcaklık Faktörü (Critical Temperature Factor)

Kritik sıcaklık faktörü ( $f_{Rsi}$ ) iç yüzey sıcaklığı ( $T_{si}$ ) ile iç ( $T_i$ ) ve dış ( $T_e$ ) ortam havası sıcaklıklarına bağlıdır. Bu değer;

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si}-T_e}{T_i-T_e} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir [9].

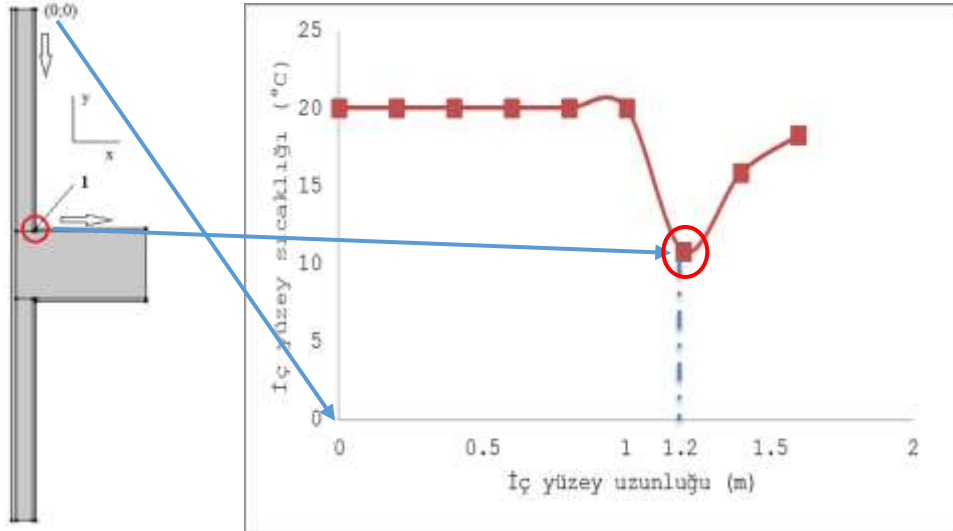
Analizde yapılan basitleştirici kabuller ise aşağıda verilmiştir;

- 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.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSION)

### 4.1. Nümerik Sonuçlar (Numerical Results)

Çalışmada duvara dış yalıtım uygulanması durumu için nümerik analizler yapılmıştır. 2 boyutlu olarak modellenen kolon giriş yapısı için ısı transferi denklemleri çözülmüştür. Modelde yalıtım kalınlıkları sırası ile 3cm, 4cm, 5cm ve 6cm alınmıştır. Kolon giriş yapısında optimum yalıtım kalınlığı ısı konfor şartına göre araştırılmıştır. Ayrıca ısı konfor şartına göre elde edilen kritik sıcaklık faktörünün iç ortam sıcaklığı ve yalıtım kalınlığı ile değişimi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre her ilin ısı konfor şartına göre yalıtım kalınlığı seçimi için iç yüzeyin tamamına ait sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Grafiklerde yatay eksen iç ortam yüzey uzunluğudur. İç ortamın yüzey uzunluğu için başlangıç koordinat noktası Şekil 4'de verilmiştir. Grafiklerde verilen x eksenindeki iç yüzey uzunluğu bu noktadan başlamakta kolon (y eksen) boyunca aşağıya doğru inilmekte ve daha sonra taban (x eksen) boyunca sağa doğru gidilmektedir. Şekil 4'de kolon giriş yapısında yuvarlak içerisine alınan kısım ise iç yüzeyde en düşük sıcaklığın görüldüğü noktadır.

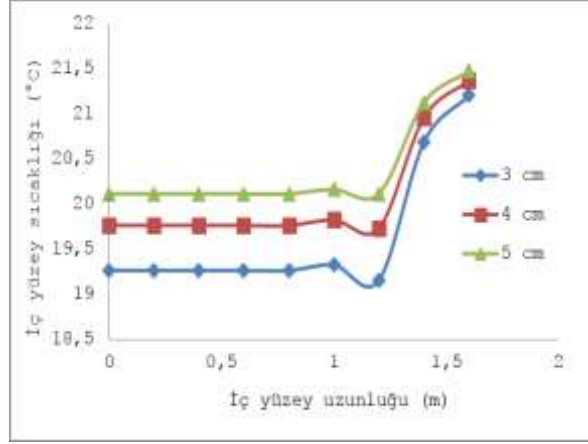


Şekil 4. Model iç yüzeyine ait başlangıç koordinat noktası ve grafik üzerinde gösterimi

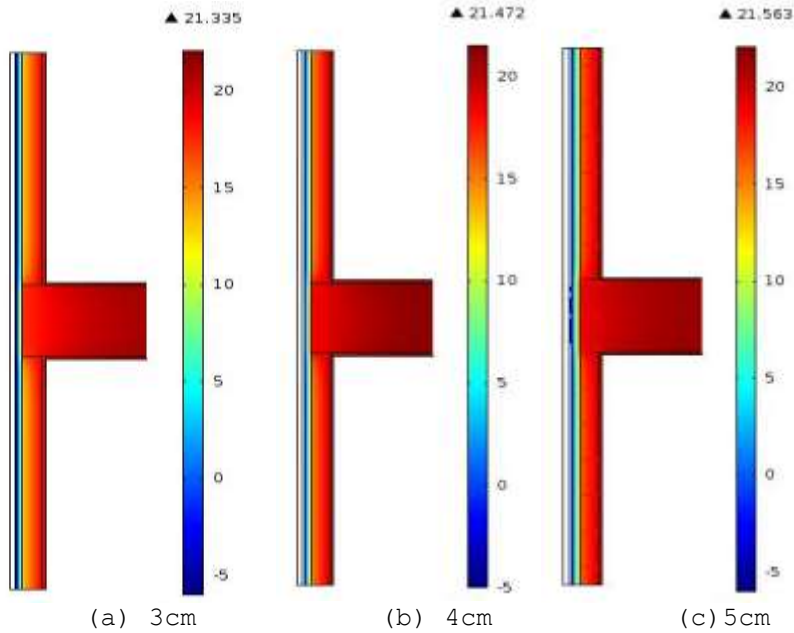
(Figure 4. Start coordinates point of model inner surface and display on graphic)

Çalışmada 81 il için 3cm, 4cm, 5cm ve 6cm yalıtım kalınlıkları için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Örnek şehir olarak seçilen

Bayburt iline ait analiz sonuçları ise Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Bayburt iline uygulanan farklı yalıtım kalınlıklarının iç yüzey sıcaklığına etkisi  
(Figure 5. Effect of different insulation thicknesses applied to Bayburt city on the internal surface temperature)



Şekil 6. Farklı yalıtım kalınlıklarına ait sıcaklık dağılımları  
(Figure 6. Temperature distributions of different insulation thicknesses)

Bu sonuçlara göre yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybı azaldığı için iç yüzey sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Şekil 6'da 3cm, 4cm ve 5cm yalıtım kalınlıkları için elde edilen sonuç grafikleri verilmiştir. Çok konforlu durum şartına göre iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı (22°C) arasındaki fark 2°C olması gerektiği Tablo 1 de daha önce verilmişti. Çok konforlu durum şartına göre iç ortam sıcaklığı 22°C olduğu için iç yüzeyde görülen en düşük sıcaklığın 20°C olması gerekmektedir. Bu kriterle 5cm de ulaşıldığı için 6cm kalınlığın uygulanmasına gerek yoktur. İç yüzey sıcaklığının değişim değerleri ise Tablo 5'de verilmiştir.



Tablo 5. Bayburt iline ait iç yüzey sıcaklık değerlerinin değişimi  
(Table 5. Change of internal temperature values of Bayburt city)

Yalıtım Kalınlığı	3 cm	4 cm	5 cm
İç Yüzey Uzunluğu (m)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)
0	19.27	19.77	20.12
0.2	19.27	19.77	20.12
0.4	19.27	19.77	20.12
0.6	19.27	19.77	20.12
0.8	19.27	19.77	20.12
1	19.33	19.83	20.17
1.2	19.16	19.74	20.12
1.4	20.69	20.96	21.13
1.6	21.21	21.38	21.48

Tablo 5’de çok konforlu durum şartına göre 5cm yalıtım kalınlığı uygun olarak seçilmiştir. En düşük sıcaklığın oluştuğu kolon kiriş köşe noktasının sıcaklık değerleri 3cm, 4cm ve 5cm için sırası ile 19.16°C, 19.74°C ve 20.12°C olarak tespit edilmiştir. Burada uygulanan yöntem ile tüm şehirler için hesaplanan yalıtım kalınlık haritası Şekil 8’de verilmiştir.

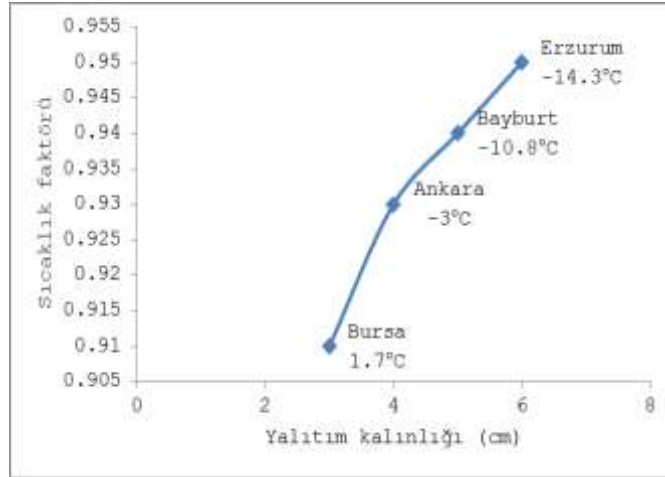


Şekil 7. Çok konforlu durum şartı için hesaplanan Türkiye’nin optimum yalıtım kalınlığı haritası

(Figure 7. The optimum insulation thickness map of Turkey calculated for very comfortable condition condition)

Bu sonuçlara göre Türkiye’nin batı, kuzey ve güney kıyılarında 3cm yalıtım kalınlığı uygun iken, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesinin batı kesimlerinde 4cm yalıtım kalınlığı uygulanmalıdır. Doğu Anadolu bölgesinin güney kesimlerinde 5cm, kuzey kesimlerinde ise 6cm yalıtım kalınlığı yapılması durumunda ısı konfor şartı sağlanacağı tespit edilmiştir. Bu şartın sağlanması ile ısı köprüsünün ve yüzeyde nemlenmenin oluşup oluşmadığını da tespit etmiş oluruz. Aynı zamanda dünyada ısı köprülerinin oluşup oluşmadığının tespiti için kullanılan diğer yöntem ise kritik sıcaklık faktörü değeridir. Yapılan bu çalışmada ısı konfor şartı esas alınarak farklı yalıtıma sahip 4 şehir için (Bursa 3cm, Ankara 4cm, Bayburt 5cm, Erzurum 6cm) hesaplanan kritik sıcaklık faktörü değerlerinin dış sıcaklık ve yalıtım kalınlığı ile olan değişimi incelenmiştir. Elde edilen

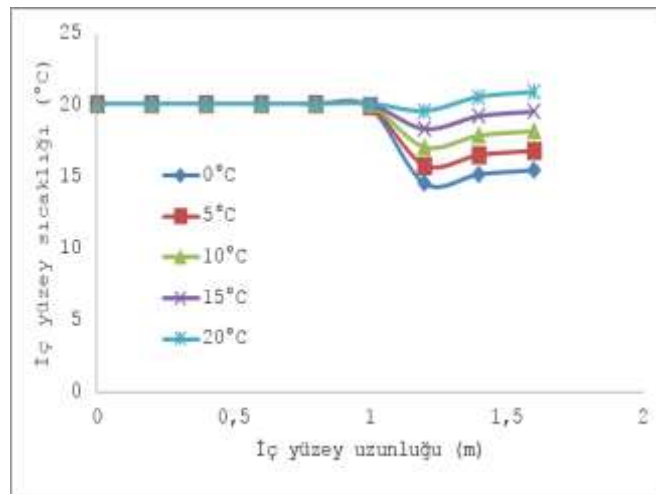
sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı düştükçe kritik sıcaklık faktörü değeri artmaktadır. Aynı zamanda yalıtım kalınlığı artışı ile kritik sıcaklık faktörü değeri de doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu sonuçlara göre 3cm, 4cm, 5cm ve 6cm yalıtım kalınlık değerleri için kritik sıcaklık faktörü değerleri sırası ile 0.91, 0.93, 0.94 ve 0.95 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre çok konforlu durum şartı ile ısı köprüsünün oluşmaması için kritik sıcaklık faktörü değerinin 0.91 değerinin altında olmaması gerekmektedir.



Şekil 8. Kritik sıcaklık faktörü değerinin dış ortam sıcaklığı ve yalıtım kalınlığı ile olan değişimi

(Figure 8. Change of the temperature factor value with outdoor temperature and insulation thickness)

Son olarak eğer alt kat kattaki dairenin sıcaklık değeri farklı ise bu durumun iç yüzey sıcaklık değişimine olan etkisi araştırılmıştır. Bunun için Bayburt şehri seçilmiştir. Oturma odasının alt kat sıcaklık değerleri sırası ile 0°C, 5°C, 10°C, 15°C ve 20°C alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı alt kat ortam sıcaklık değerlerine göre üst kata ait oturma odasının iç yüzey sıcaklık değişimleri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Farklı alt kat ortam sıcaklıklarının üst kata ait oturma odasının iç yüzey sıcaklığı ile değişim grafiği

(Figure 9. Effect on the internal surface temperature of the living of different downstairs temperature)



Oturma odasının iç yüzey sıcaklık değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir. Burada kolon kiriş köşe noktasında oluşan en düşük sıcaklık değerine göre konfor şartları tespit edilmiştir.

Tablo 6. Alt katın farklı sıcaklıklara sahip olması durumunda oturma odasının iç yüzey sıcaklık değişim değerleri  
Table 6. Inner surface temperature change values of the living room in case the downstairs has different temperatures

	Konforsuz	Konforsuz	Az Konforlu	Az Konforlu	Konforlu
Alt Kat Sıcaklığı	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C
İç Yüzey Uzunluğu (m)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)
0	20.12	20.12	20.12	20.12	20.12
0.2	20.12	20.12	20.12	20.12	20.12
0.4	20.12	20.12	20.12	20.12	20.12
0.6	20.12	20.12	20.12	20.12	20.12
0.8	20.1	20.11	20.11	20.12	20.12
1	19.86	19.93	20	20.07	20.14
1.2	14.57	15.83	17.1	18.36	19.62
1.4	15.2	16.55	17.9	19.25	20.6
1.6	15.48	16.84	18.21	19.57	20.94

Alt kat sıcaklığı 20°C ise konforlu, 10°C ve 15°C'de az konforlu 0°C ve 5°C'de ise konforsuz ortam oluşmaktadır. Bu sonuçlara göre alt kat veya üst kattaki dairenin sıcaklığı 10°C olsa bile az konforlu durum şartı sağlanmaktadır. Eğer 0°C ve 5°C ise tabana veya tavana da ekstra yalıtım eklenmesi gerekmektedir. Burada önemli olan konfor şartı düşük olduğu zamanda bile ısı köprüsü oluşup oluşmayacağı konusudur. Bunun için iç yüzey yoğuşma sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Tablo 7'de oturma odası sıcaklığının iç ortam nem miktarına göre yoğuşma sıcaklıkları verilmiştir. Buna göre ortam konfor şartı için nem miktarı %30-70 arasında olması gerekmektedir. %70 bağıl nem miktarı için çiğ nokta sıcaklığı 16.3°C dir. Alt kat 10°C olduğu zaman iç yüzeyde en düşük sıcaklık 17.1°C olduğu için yüzeyde yoğuşma ve ısı köprüsü meydana gelmemektedir. Ancak ortam bağıl nemi %70 in üzerinde ise o zaman ısı köprüsü oluşmaktadır.

Tablo 7. 22°C ortam sıcaklığının bağıl nem değerlerine göre çiğ noktası sıcaklıkları (°C) [30]  
(Table 7. Raw point temperatures (°C) relative to relative humidity values of 22°C ambient temperature [30])

22°C													
%30	%35	%40	%45	%50	%55	%60	%65	%70	%75	%80	%85	%90	%95
3.6	5.9	7.8	9.5	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Elde edilen bazı sonuçlar şu şekildedir:

- Türkiye'de bulunan bütün şehirler için optimum yalıtım kalınlık değerleri çok konforlu durum şartını sağlamak üzere için tespit edilmiştir. Dört farklı yalıtım kalınlığının seçilen yapı modeline göre Türkiye için yeterli olduğu görülmüştür.
- Çalışmada ısı köprüsü açısından kritik sıcaklık faktörü parametresi de incelenmiştir. Isı köprüsü oluşmaması için ısı konfor şartları yerine getirilmelidir.
- Türkiye için kritik sıcaklık faktörü değerinin yapılan çalışmada kullanılan modele ve çok konforlu durum şartına göre 3cm yalıtım kalınlığında en az 0.91 olması gerektiği tespit edilmiştir.



- Daire ara katta ise sadece dış yalıtım yeterlidir. Ancak alt kat sıcaklığı 10°C olsa bile az konforlu durum şartı sağlanmasına rağmen 10°C altında olması durumunda ısı köprüsü oluşmaması için tabana da ek yalıtım yapılması gerekmektedir.
- Yalıtım kalınlığı seçilirken aynı zamanda iç ortam havasının bağıl nemi ve yoğuşma sıcaklığı da göz önünde bulundurulmalıdır.
- Binalarda ısı yalıtımı yapılması ısıl konfor, enerji tasarrufu ve insan sağlığı açısından önemlidir. Bu nedenle 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 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.

#### **NOT (NOTICE)**

Bu bildiri 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Sezer, F.Ş. ve Yeşilyurt, N.K. (2011). 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.
- [2] Sezer, F.Ş. ve Cihan, M.T., (2010). Dışarıdan Yalıtımlı Binaların Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 2.
- [3] BEP, (2011). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Ankara.
- [4] TS 825, (2009). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [5] Sezer, F.Ş., (2005). Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri," Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 10, Sayı: 2.
- [6] Toksoy, M., (1995). Isıl Konfor ve Üretkenlik, 2. Ulusal Tesisat Mühendisliği Ve Kongresi ve Sergisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İzmir.
- [7] Saryal, N., (1983). Duvar Isı Yalıtımının İnsan Sağlığı Yönünden Önemi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 6, 1, 37-39.
- [8] Pehlevan, A., (1993). Isınmada Enerji Ekonomisi, Isıl Konfor Etkileşimi, Enerji Tasarrufu Semineri Tebliğleri, TÜYAP, sayfa:167-178.
- [9] Kalamees, T., (2006). Critical Values for the Temperature Factor to Assess Thermal Bridges, Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 12, 3-1, 218-229.
- [10] Uyttenbroeck, J. and Carpentier, G., (1984). Vochthuishouding in Gebouwen. Wissenschaftliches und Technisches Bauzentrum. Technische voorlichtingen 153, Brussels.



- [11] NEN 2778:1991, (1991). Vochtwerking in Gebouwen, Bepalingsmethoden. Nederlands Normalisatieinstituut, Delft.
- [12] Berthier, J., (1980). Diffusion de vapeur au travers des parois - Condensations. C.S.T.B. - REEF Sciences du Bâtiment, Vol. II, Paris.
- [13] DIN 4108-2:2001-03, (2001). Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [14] SIA-180:1999, (1999). Wärme-und Feuchteschutz im Hochbau. Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [15] BRE IP 17/01, (2001). Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. BRE, Building Research Establishment Ltd, Garston.
- [16] Asumisterveysohje, (2003). Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus oppaita 2003:1, Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, Helsinki.
- [17] Martín, K., Erkoreka, A., Flores, I., Odrizola M., and Sala, J.M., (2011). Problems in the calculation of thermal bridges in dynamic conditions," Energy and Buildings, 43, 529-535.
- [18] Karabulut, K., Buyruk E., and Fertelli, A., (2009). Numerical Investigation of Heat Transfer for Thermal Bridges Taking Into Consideration Location of Thermal Insulation with Different Geometries, Strojarstvo," Cilt: 51, No: 5, 431439.
- [19] J.J. Salgon, A. Neveu, "Application of Modal Analysis to Modelling of Thermal Bridges," Energy and Buildings, Cilt 10, No 2, 109-120, 1987.
- [20] Quinten, J. And Feldheim, V., (2016). Dynamic Modelling of Multidimensional Thermal Bridges in Buildingenvelopes: Review of Existing Methods, Application and New Mixedmethod, Energy and Buildings, 110, 284-293.
- [21] Marincioni, V., May, N., and Altamirano-Medina, H., (2015). Parametric Study on the Impact of Thermal Bridges on the Heat Loss of Internally Insulated Buildings, Energy Procedia, 78, 889- 894.
- [22] Theodosiou, T.G. and Papadopoulos, A.M., (2008). The Impact of Thermal Bridges on the Energy Demand of Buildings with Double Brick Wall Constructions, Energy and Buildings, 40, 2083-2089.
- [23] Dilmaç, Ş., Can, A. ve Sezer, F.Ş., (2004). Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçeriden ve Dışarıdan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması, Tesisat Mühendisliği, Mart-Nisan 2004.
- [24] Song, J.H., Lim, J.H., and Song, S.Y., (2016). Evaluation of Alternatives for Reducing Thermal Bridges in Metal Panelcurtain Wall Systems," Energy and Buildings, 127, 138-158.
- [25] Ibrahim, M., Bıwole, P.H., Wurtz, E., and Achard, P., (2014). Limiting Windows Offset Thermal Bridge Losses Using a New Insulating Coating," Applied Energy, 123, 220-231.
- [26] Can, M., Avcı, A. ve Etemoğlu, A.B., (2008). Teknik Tesisat El Kitabı. Burda: Dora Yayınevi.
- [27] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2017). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>.



- 
- [28] Karabulut, K., Buyruk, E. ve Fertelli, A., (2013). Katlar Arası Farklı İç Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Isı Köprülerindeki Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:137 (Eylül/Ekim).
- [29] Comsol Multiphysics 5.2.a, (2016). Heat Transfer Module User's Guide.
- [30] Karakoç, H., Binyıldız, E. ve Turan, O., (1999). Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı, Ode Teknik Yayınları, No: G20.