

FARKLI GEOMETRİLERDEN OLUŞAN ISI KÖPRÜLERİNDE ISI KAYIPLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Koray KARABULUT
Ertan BUYRUK

ÖZET

Bu çalışmada, betonarme taşıyıcı sistemlerdeki kirişlerin oluşturduğu ısı köprülerinin ısı transferi yapıları farklı şekillerde yalıtımlı balkon uzantılı ve içten ve sandviç yalıtımlı ara kat döşemeleri için sayısal olarak incelenmiştir. Bütün modeller için sıcaklık ve ısı akısı konturleri, 5 cm yalıtım kalınlığı durumunda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bütün yapı modellerinde en fazla ısı transferi miktarının, kiriş bölgesinde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte; ara kat kirişli ısı köprüsünün kiriş yüzeyinde, yalıtımsız duruma göre kiriş önüne yalıtım uygulanmasıyla ısı transferi miktarında yaklaşık % 89' luk azalma sağlanmıştır. En uygun yalıtım modelinin duvar yalıtımına ek olarak kiriş önünün de yalıtıldığı durum olduğu ve böylece kirişin yalıtılmasıyla ısı köprüsü etkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı köprüsü, Isı yalıtımı, Fluent, Enerji tasarrufu.

ABSTRACT

In this study, heat transfer structures were investigated numerically for thermal bridges formed by beams for balcony extension floor in different ways insulated and with cavity wall and internal insulated normal story floors of reinforced concrete structure systems. Temperature and heat flux contours were obtained for all models in the case of 5 cm insulation thickness. Results showed that high heat transfer rates were obtained in the region of thermal bridges for all building models. However, according to without insulation case, heat transfer rate was obtained to reduce about 89 % on beam surface of the normal story floor by applying insulation front of beam. The most appropriate insulation model was also front of beam insulation case in addition to wall insulation and so it was obviously determined that effect of thermal bridge decreased with beam insulation.

Key Words: Thermal bridge, insulation, Fluent, Energy saving.

1. GİRİŞ

Isı köprüleri, binanın ısı direncinin önemli bir şekilde değiştiği (örneğin: çatı, zemin ve tavanların duvarlarla birleşimleri veya köşe, pencere veya kapı açıklıkları gibi diğer yapı detayları) ve bunun sonucunda çok boyutlu ısı akımının meydana geldiği bölgelerdir [1]. Bu bölgeler, bina yapı kabuğunda kış aylarında ısı kaybını ve yaz aylarında ısı kazancını artırması ile önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan farklı çalışmalar, ısı köprülerinin duvar ve çatı birleşimlerinin ısı dirençlerini önemli miktarda azalttıklarını göstermiştir. Deneysel çalışmalarından elde edilen bilgiye dayanarak, bir boyutlu ısı akısı varsayımları belirli bir bina için toplam ısı kaybı katsayısının % 10–40 oranında daha az bulunmasına sebep olmaktadır [2].

Isı köprülerinin ısı durumu hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalardan bir tanesinde, Dilmaç vd. [3], bir boyutlu analizleri kullanarak hesaplanan değerlerle, ölçülen değerler arasındaki farkı ve iç yüzey sıcaklığı üzerinde yalıtım tabakasının boyut ve konumunun etkisini incelemiştir. Larbi [4], iki boyutlu ısı köprülerinin ısı iletiminin istatistiksel modellerini geliştirmiştir. Gao vd. [5], ısı köprülerinin ek ısı kayıpları için üç boyutlu ısı transferi modeli geliştirmiştir. Duvardan olan kayıplar için, bu teknikle geleneksel bir boyutlu modelin birleştirilmesi büyük miktardaki zaman simülasyonlarının azaltılması için uygulanabilir. Mao ve Johannesson [6] tarafından frequency response yöntemi kullanılarak, ısı köprülerinin ısı performanslarını belirlemek için çok boyutlu dinamik modeller yapılmıştır. Isı köprüleri içinde ısı akılarının ve sıcaklıkların dinamik karşılıklarını hesaplamak için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Karabulut vd, [7] tarafından yalıtımın konumunun ve kalınlığının değiştirilmesinin iki boyutlu ısı köprülerinde ısı kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Salgon ve Neveu [8] ise iki boyutlu ısı transferinin dinamik unsurunun modellemesini yapmış ve binanın bütünündeki ısı köprülerini incelenmişlerdir. Hassid [9] çok tabakalı duvarların köşe noktalarında ısı köprüsü etkisini hesaplayabilmek için integral yaklaşımı geliştirmiştir.

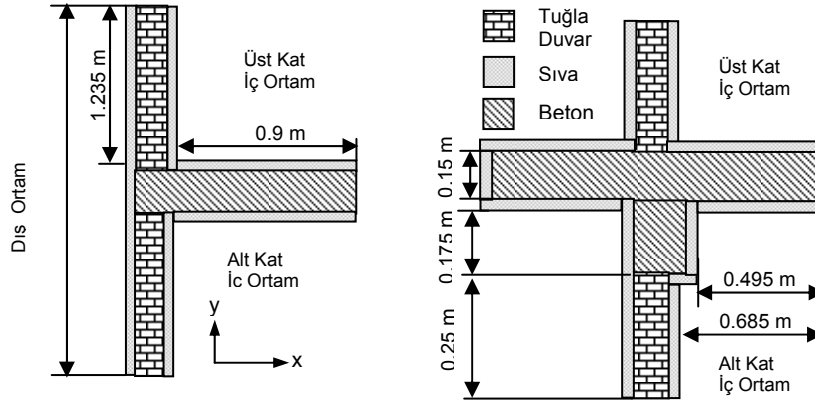
Günümüzde yapılarda doğalgazla birlikte kombi kullanımının yaygınlaşması ile müstakil ısıtma ön plana çıkmıştır. Bu nedenle, döşeme yalıtımının önemi daha iyi anlaşılacakla beraber hem katlar arası ısı kaybının önüne geçilebilmekte hem de ısı köprüsü etkisi büyük oranda önlenmektedir.

Bu çalışmada, yalıtımın ve ısı köprülerinin önemi vurgulanmış ve farklı geometrilerde ısı köprüsü etkisinin görüldüğü bölgeler 5 cm yalıtım kalınlığı için Fluent paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklık konturları, ısı akısı, bölgesel sıcaklıklar, dış ve iç ısı akısı dağılımları içten ve sandviç yalıtımlı ve balkon uzantılı farklı şekillerde yalıtımlı ısı köprüsü için hesaplanmıştır.

2. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

Analizlerde genellikle binalarda bulunan başlıca iki tip ısı köprüsü modeli kullanılmıştır: ara kat ve balkon uzantı döşemeli ısı köprüsü modeli (Şekil 4, Şekil 12 ve Şekil 20). Ara kat döşemesi için ısı yalıtım malzemesi, içten ve çift duvar arası (sandviç yalıtım) yalıtım yapılarak uygulanırken, balkon uzantısı için içten ve dıştan olmak üzere giriş yüzeyine farklı şekillerde yalıtım yapılarak uygulanmıştır. Bununla birlikte, bütün modellerde kullanılan yalıtım kalınlığı 5 cm'dir.

Tüm analizler için kullanılan yapı malzemelerinin kalınlıkları ve ısı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir ve modellerdeki yalıtımlı duvar şekilleri yapılaraya uygulanabilme özelliği taşımaktadır. Isı köprüsü analizlerini çözmek için sonlu hacim yöntemi (FLUENT programı) kullanılmıştır. Sonlu hacim yöntemi, sonucu bulmak için geometriyi çözümlenecek parçalara bölmek ve sonra problemin genel bir sonucunu bulmak için bu sonuçları birleştirmek esasına dayanır. Bu yöntem, ısı akısı denklemlerini sayısal olarak çözülebilen cebirsel denklemlere dönüştürmek için kontrol hacmi esaslı bir teknik kullanır. Diğer bir ifadeyle bu yöntem her bir kontrol hacmi için ısı akısı denklemlerinin integrasyonunu almayı esas alır. Bu integrasyon sonucu, her bir kontrol hacmini temsil eden denklemlerin çözülmesini sağlar. Model simülasyonları için toplamda 8000 ile 9000 arasında elemandan oluşan dikdörtgenel ağ yapısı kullanılmıştır. Modellerin yalıtım şekilleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ara Kat ve Balkon Uzantı Döşemesi İçin Modeller

Bu çalışma belirtilen kabuller altında yapılmıştır: (i) ısı üretimi yok (ii) sabit ısıl özellikler (iii) tabakalar arasında ısı temasın tam olduğu (iv) dış ve iç yüzeyde sabit ısı taşınım katsayısı. Sınır şartları ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.

a) İç yüzey ($x=L$):

$$k_n \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = h_i (T_{x=L} - T_i) \quad (1)$$

h_i , iç ortam ısı taşınım katsayısı, T_i iç ortam sıcaklığıdır.

b) Dış yüzey ($x=0$):

$$k_1 \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = h_o (T_o - T_{x=0}) \quad (2)$$

h_o , dış ortam ısı taşınım katsayısı, T_o ise dış ortam sıcaklığıdır.

Bütün analizlerde, dış ortam sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı sırasıyla -20 °C, 25 W/m²K, iç ortam sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı ise sırasıyla 20 °C ve 8 W/m²K olarak alınmıştır [10].

Tablo 1. Yapı Malzemelerinin Özellikleri [11].

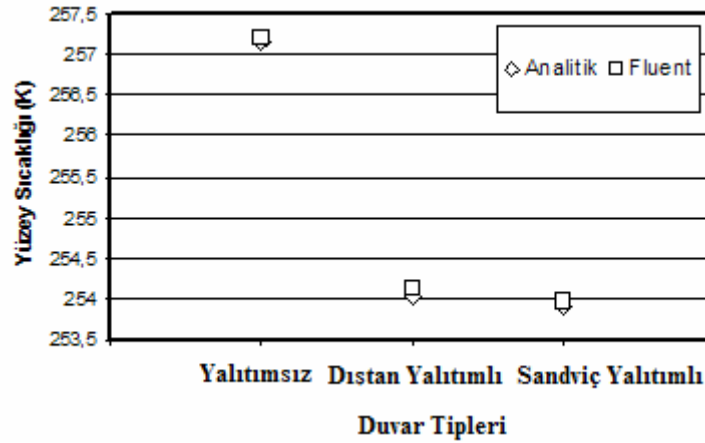
Yapı malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)
Beton	2.1	0.3
Isı yalıtım malzemesi	0.026	0.05
Tuğla duvar	0.45	0.085
İç sıva	0.87	0.015
Dış sıva	1.4	0.025

Tablo 2. Modellerin Yalıtım Şekilleri

Modeller	Yalıtım tipi
İ1	İçten yalıtımlı
İ2	İçten ve üst kat taban yalıtımlı
İ3	İçten ve giriş önü yalıtımlı
S1	Sandviç yalıtımlı
S2	Sandviç ve üst kat taban yalıtımlı
S3	Sandviç ve giriş önü yalıtımlı
B1	İçten giriş önü yalıtımlı
B2	İçten alt kat giriş önü ve dıştan üst kat giriş yüzeyi yalıtımlı
B3	Dıştan giriş yüzeyi yalıtımlı

SONUÇ

Üç farklı düzlem duvarın dış yüzeyleri için elde edilen bir boyutlu analitik sonuçlarla (yalıtımsız, dıştan yalıtımlı, sandviç yalıtımlı), Fluent programından elde edilen iki boyutlu ısı iletim denkleminin çözümü ile bulunan sayısal sonuçlar, kıyaslamak için karşılaştırılmıştır. Şekil 2’de de görüldüğü gibi analitik ve nümerik sonuçların oldukça yakın ve paralel olduğu görülmüştür.



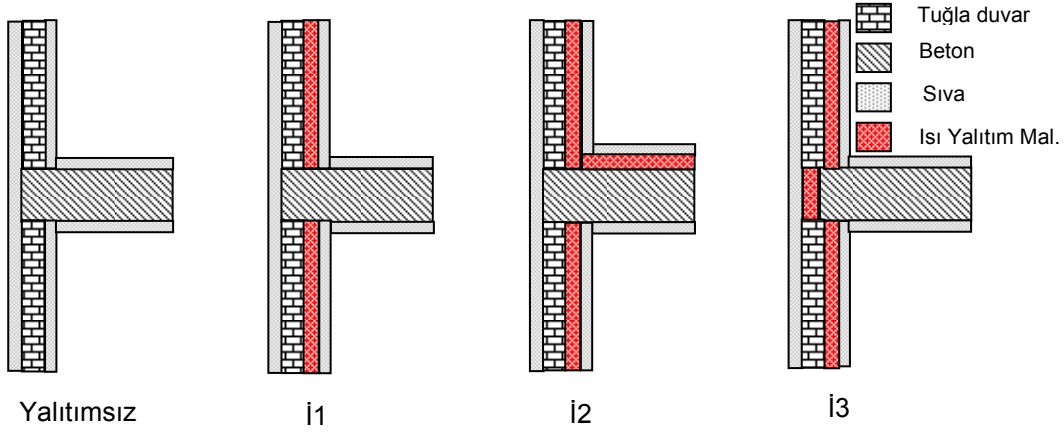
Şekil 2. Üç Farklı Düzlem Duvar İçin Analitik ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Her bir yapı modeli için sıcaklık dağılımı konturları ve ısı akısı vektörleri gösterilmiştir. Buna ilaveten farklı yapı modellerinde, dış duvar ve iç duvar yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri ve yüzey boyunca ısı akısı değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Ara kat döşemeli modellerde, alt kat iç yüzeyle ilgili grafiklerde sıfır noktası alt katın giriş iç yüzeyinden başlamakta ve uzaklık “y” eksenı boyunca aşağı doğru, “x” eksenı boyunca sola doğru artmaktadır. Üst kat iç yüzeyle ilgili grafiklerde sıfır noktası üst katın giriş iç yüzeyinden başlamakta ve uzaklık “y” eksenı boyunca yukarı doğru, “x” eksenı boyunca sola doğru artmaktadır. Dış yüzeyle ilgili grafiklerde sıfır noktası, düşey eksen boyunca aşağıdan başlamakta ve uzaklık “y” eksenı boyunca yukarı doğru artmaktadır. Balkon uzantılı ara kat döşemeli modellerde, alt kat iç yüzeyle ilgili grafiklerde sıfır noktası alt katın duvar iç yüzeyinden başlamakta ve uzaklık “y” eksenı boyunca yukarı doğru, “x” eksenı boyunca sağa doğru artmaktadır. Üst kat iç

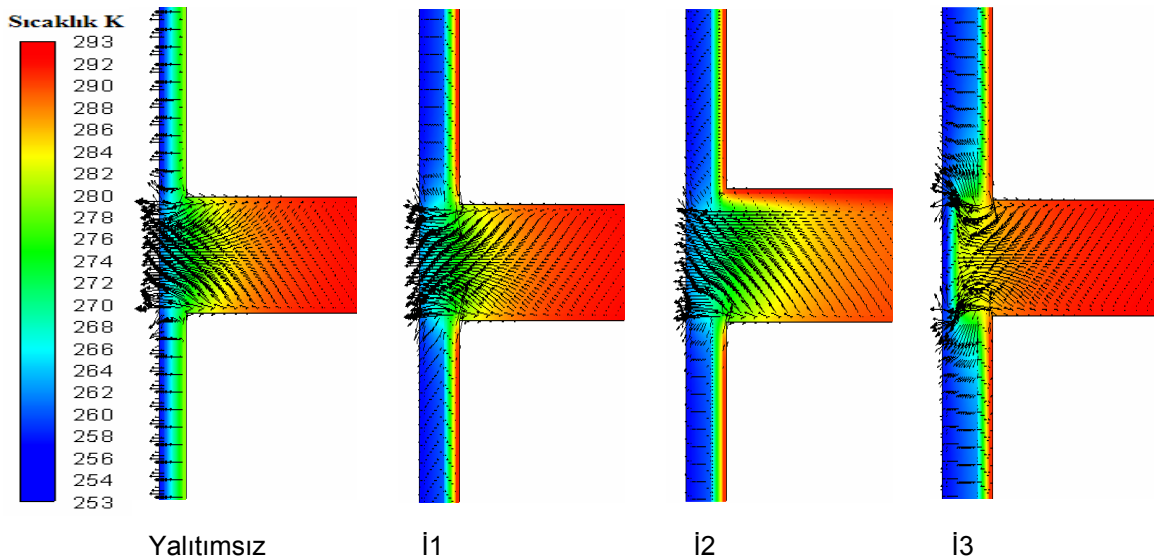
yüzeyle ilgili grafiklerde sıfır noktası üst katın duvar iç yüzeyinden başlamakta ve uzaklık “y” eksenini boyunca aşağı doğru, “x” eksenini boyunca sağa doğru artmaktadır. Grafiklerde, iç ve dış yüzeyde ölçüm alınan noktalar yalıtımsız yapı modeli üzerine eklenmiş ve grafik üzerinde okla gösterilmiştir.

İncelenen bütün modellerde yalıtım kalınlığı 5 cm olarak seçilmiştir. Ara kat döşemesinde, yalıtımın içten ve sandviç uygulanması durumunda, balkon uzantılı ara kat döşemesinde yalıtımın kiriş yüzeyine uygulanması durumunda yalıtımın yerleri değiştirilerek elde edilen farklı geometrilerden oluşan ısı köprüsü modellerinde sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Dış yüzeyde, üst kat ve alt kat iç yüzeyde sıcaklık ve ısı akısı değişimleri grafiksel olarak incelenmiştir.

Şekil 3’de içten yalıtımlı ara kat döşemeleri için yapı modelleri gösterilmektedir. Şekil 4’de içten yalıtımlı ara kat döşemeli modellerdeki sıcaklık dağılımları ve ısı akısı vektörleri görülmektedir. İçten yalıtım uygulanmasıyla duvar yüzey sıcaklıkları artmakta ve ısı akısı vektörleri azalmaktadır. Kiriş yüzeyinin yalıtımsız olduğu İ1 ve İ2 modellerinde ısı akısı vektörleri uzun ve yoğun, yalıtımlı kiriş (İ3) ve duvar yüzeylerinde ise kısa ve yoğunluğu oldukça azdır. ısı akısı vektörlerinin uzunluğu ve yoğunluğu, o bölgeden olan ısı kaybının fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca İ3 modelinde, kiriş-duvar ve yalıtım arasındaki kısımdan olan ısı akısı nedeniyle vektörlerin yoğunluğunda artış görülmektedir.



Şekil 3. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Yapı Modelleri

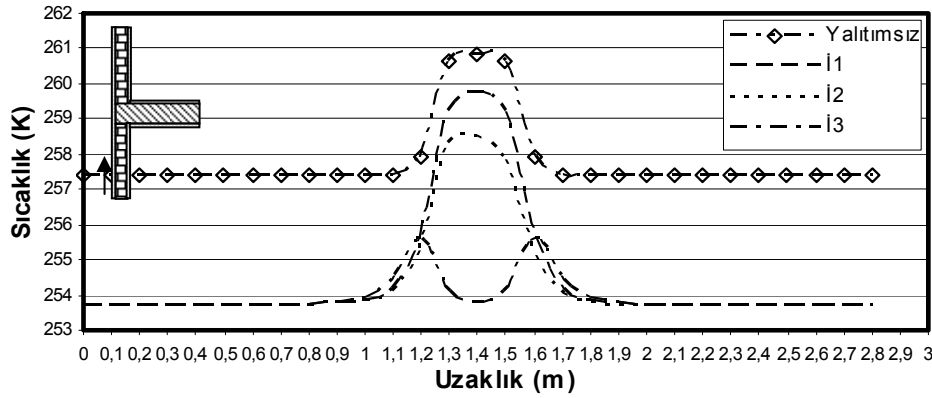


Şekil 4. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Sıcaklık Dağılımları

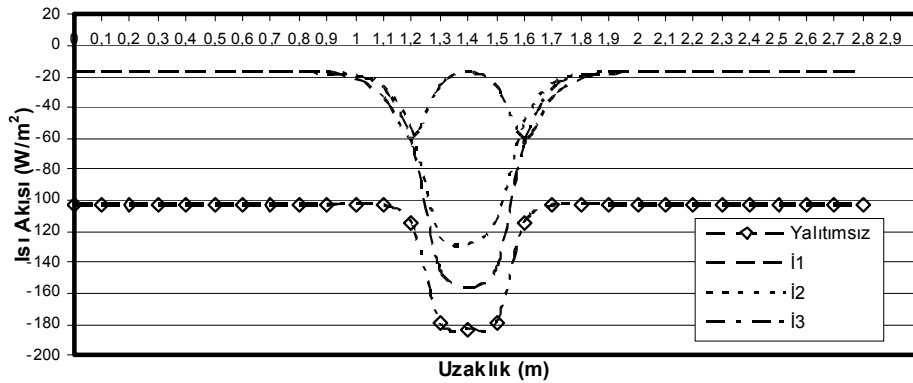
Şekil 5’de içten yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan dış yüzey sıcaklık değişimleri görülmektedir. Yalıtımsız modelde düzlem duvar yüzeyi boyunca sıcaklık 257,41 K iken yalıtımlı modellerde,

253,72 K değerine düşmektedir. Bununla birlikte, yalıtım kirişin dış yüzeyindeki sıcaklığın da düşmesini sağlamaktadır. Yalıtımsız durumda kirişin tam orta noktasındaki dış yüzey sıcaklığı, 260,86 K iken İ1 modelinde 259,71 K'e, İ2 modelinde 258,49 K ve kiriş önünün de yalıtımlı olduğu İ3 modelinde ise 253,75 K değerine düşmektedir. Bununla birlikte, İ3 modelinde yalıtımda bir süreklilik sağlanmadığı için yalıtımın alt ve üst kısmında sıcaklık değerinde sıçramalar olmakta ve bu kısımlarda sıcaklık 255,56 K değerine ulaşmaktadır.

Şekil 6'da içten yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan dış yüzey ısı akısı değişimleri görülmektedir. Yalıtımsız durumda dış duvar yüzey ısı akısı $102,76 \text{ W/m}^2$ iken yalıtımın uygulanmasıyla bu değer $16,94 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmektedir. Kirişin orta kısmında da yalıtımın etkisi görülmektedir. Yalıtımsız durumda kirişin orta kısmında ısı akısı değeri $182,91 \text{ W/m}^2$ iken, İ3 durumunda bu değer $17,53 \text{ W/m}^2$ 'e kadar düşmektedir. Aynı zamanda bu modelde duvarla yalıtım arasındaki boşluktan olan ısı kayıpları nedeniyle bu kısımlardaki ısı akısı değerinde sıçramalar olmakta ve 59 W/m^2 değerine kadar çıkmaktadır. İ2 ve İ3 modellerinde kirişten olan ısı kayıplarına önlem alınmadığından kirişte daha yüksek ısı akısı değerlerine ulaşılmaktadır.



Şekil 5. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Dış Yüzey Sıcaklık Değişimleri



Şekil 6. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Dış Yüzey Isı Akısı Değişimleri

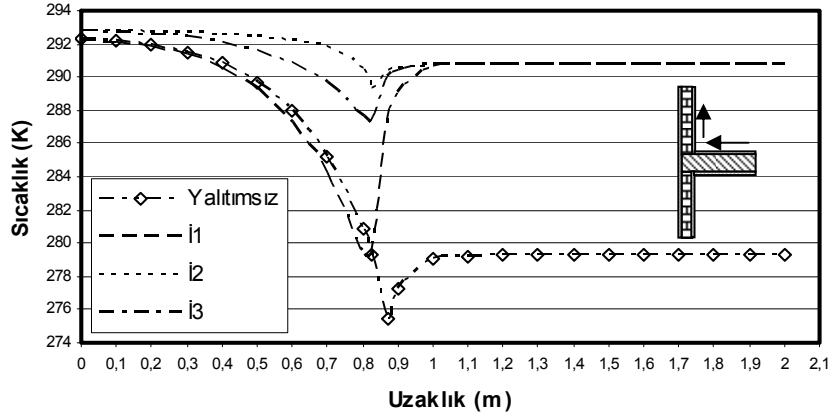
Şekil 7'de içten yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan üst kat iç yüzey sıcaklık değişimleri görülmektedir. İçten yalıtım uygulanmasıyla duvar kesitinin soğuk ortamda kalması nedeniyle üst kat kiriş yüzey sıcaklığı İ1 modelinde, yalıtımsız modele göre daha düşük değerler almaktadır. Kiriş yüzeyinde en yüksek sıcaklık değerine, kiriş yüzeyinin de yalıtımlı olduğu İ2 modelinde erişilmektedir. İ1 ve İ3 modellerinde, kiriş yüzeyinde 0,5 m uzaklıkta noktasal sıcaklık değerleri sırasıyla 289,27 K ve 291,6 K iken İ2 modelinde 292,41 K'dir. Köşe noktasına gelindiğinde sıcaklık, yalıtımsız durumda $275,44 \text{ K}$ 'e düşmekte iken İ2 modelinde 289,32 K değerine çıkmaktadır. Yalıtımlı iç duvar yüzeylerinde ise 290,77 K iken yalıtımsız duruma göre 11,5 K daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 8'de içten yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan üst kat iç yüzey ısı akısı değişimleri görülmektedir. Dış ortama doğru kiriş yüzeyinde ilerlendikçe ısı akısı değerleri artmasına rağmen en

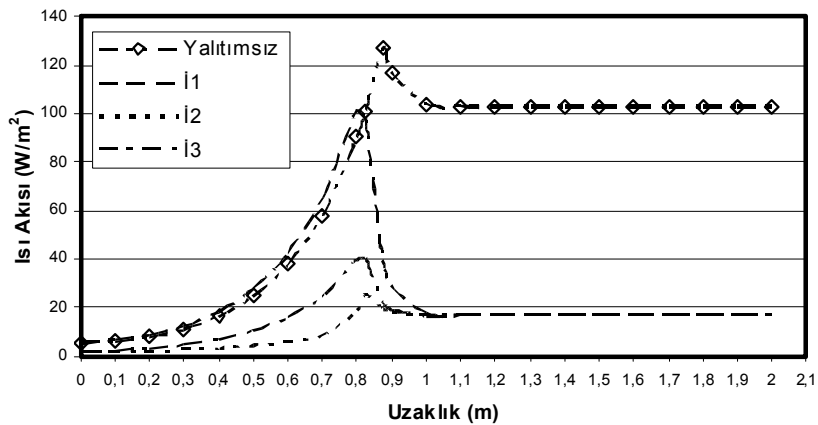
düşük ısı akısı değerlerine İ2 modelinde ulaşılmaktadır. İ1 modelinde yalıtımsız duruma göre daha düşük giriş iç yüzey ısı akısı değerine erişilmekte iken İ3 modelinde giriş önüne uygulanan yalıtım ısı akısı değerinin daha da düşmesine neden olmaktadır. Yalıtımsız durumda köşe noktasında 127 W/m^2 ile en yüksek değerine ulaşan ısı akısı değeri, İ2 modelinde $25,26 \text{ W/m}^2$ 'ye kadar düşmektedir. Yalıtımlı duvar yüzeylerinde, yalıtımsız duruma göre ısı akısında 86 W/m^2 'lik azalma olmaktadır.

Şekil 9'da içten yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan alt kat iç yüzey sıcaklık değişimleri görülmektedir. İ2 modelinde üst kat giriş yüzeyine yapılan yalıtım nedeniyle giriş kesit sıcaklığı daha da azalmakta ve bu durum da alt kat giriş yüzey sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle alt kat için en yüksek giriş yüzey sıcaklığına İ3 modelinde erişilmektedir. Köşe noktasında sıcaklık değerleri azalmakta iken İ3 modelinde yalıtımsız duruma göre yaklaşık 12 K'lık artış sağlanmaktadır. Bu noktadan sonra, yalıtımlı duvar yüzeyinde de artış devam ederek sıcaklık değeri $290,77 \text{ K}$ değerine ulaşmaktadır.

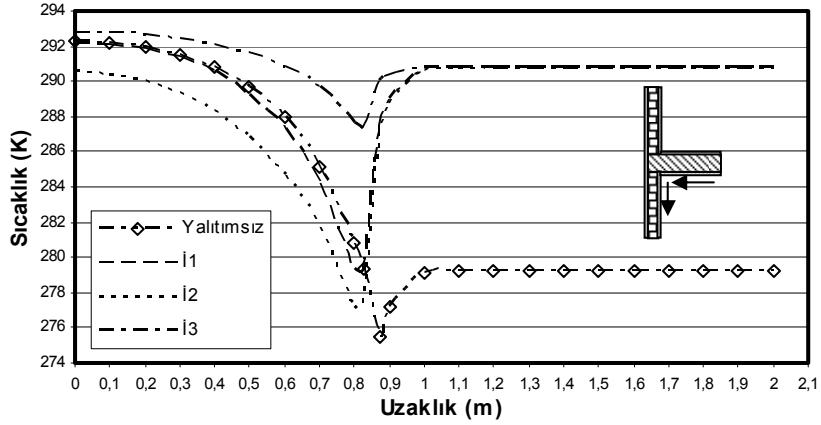
Şekil 10'da içten yalıtımlı ara kat döşemelerindeki alt kat iç yüzey ısı akısı değişimleri görülmektedir. Isı akısı değerleri köşe noktasına doğru yüzey boyunca artmaktadır. Giriş yüzeyinde 0,6 m uzaklıkta yalıtımsız durumda $37,65 \text{ W/m}^2$ olan ısı akısı değeri, İ1 durumunda $42,39 \text{ W/m}^2$ 'ye, İ2 durumunda $62,72 \text{ W/m}^2$ 'ye ulaşmakta iken İ3 durumunda $15,95 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmektedir. Köşe noktasından itibaren ısı akısı azalarak duvar yüzeyinde $16,65 \text{ W/m}^2$ olmaktadır.



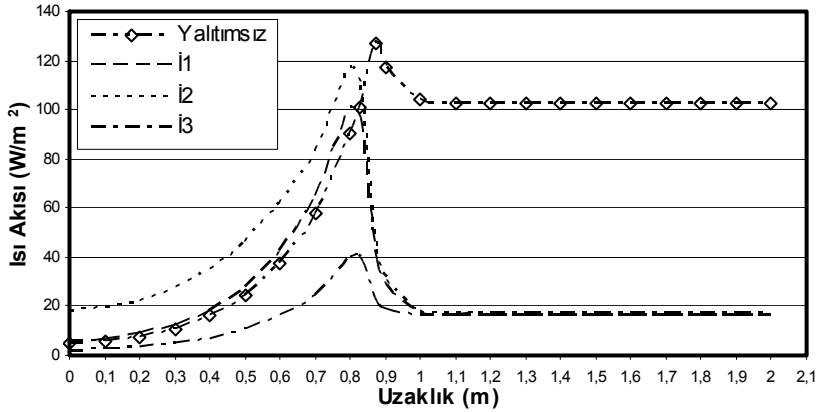
Şekil 7. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Üst Kat İç Yüzey Sıcaklık Değişimleri



Şekil 8. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Üst Kat İç Yüzey Isı Akısı Değişimleri



Şekil 9. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Alt Kat İç Yüzey Sıcaklık Değişimleri



Şekil 10. İçten Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Alt Kat İç Yüzey Isı Akısı Değişimleri

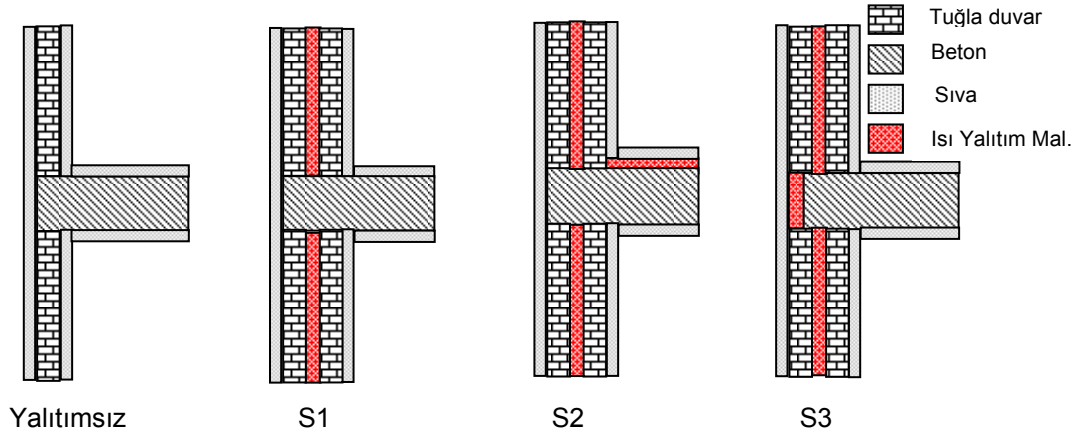
Şekil 11'de ise sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerine ait yapı modelleri görülmektedir. Şekil 12'de sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerindeki sıcaklık dağılımları ve ısı akısı vektörleri gösterilmektedir. Yalıtımsız durumda ısı akısı vektörleri giriş bölgesinde yoğun olmakla birlikte duvar kesitinde bu yoğunluk azalmaktadır. S2 modelinde sandviç yalıtım uygulanmasıyla duvarda ısı akısı vektörleri azalmakta ve duvar sıcaklığı artmaktadır. S1 modelinde olduğu gibi S2 modelinde de giriş bölgesindeki ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu fazladır. Yalıtım uygulanan üst kat taban yüzeyinin sıcaklığı artmakta ve bu kısımdaki ısı akısı vektörleri azalmaktadır. Sandviç duvar kesitlerinde yalıtımdan önceki duvar kesitleri soğuk ortama maruz bırakıldıkları için sıcaklıkları yalıtımdan sonraki duvar kesitine göre oldukça düşüktür. Yalıtım iç taraftaki duvarda ısı depolanmasını sağlayarak, duvar sıcaklığını artırmaktadır. Aynı şekilde S4 modelinde giriş önüne yapılan yalıtımla girişte ısı depolama özelliği kazandırılmakta ve girişin sıcaklığı artmaktadır. Ayrıca, bu modelde yalıtımla giriş-duvar arasındaki boşluktan olan ısı kayıpları nedeniyle ısı akısı vektörlerinde artış görülmektedir.

Şekil 13'de sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerinde dış yüzeyde oluşan sıcaklık değişimleri görülmektedir. Yalıtımsız durumla karşılaştırıldığında sandviç yalıtım durumunda dış duvar yüzey sıcaklığı değerinde 3,73 K'lik azalma olmaktadır. Sandviç yalıtım durumunda yanıl ısı akımlarının azalmasıyla S1 modelinde girişin orta kısmında sıcaklık 259,1 K'e düşmektedir. Yalıtımsız durumda bu değer 260,86 K olmaktadır. S2 modelinde üst kat taban yüzeyine yapılan yalıtımla bu kısımdaki sıcaklığın 258,36 K'e, S3 modelinde ise giriş yüzeyine yapılan yalıtımla 253,72 K değerine düşmesi sağlanmaktadır. S3 modelinde girişin alt ve üst kısımlarında ısı kayıplarının etkisiyle sıcaklıkta sıçrama olduğu görülmekte ve bu kısımlarda sıcaklık 255,43 K olmaktadır.

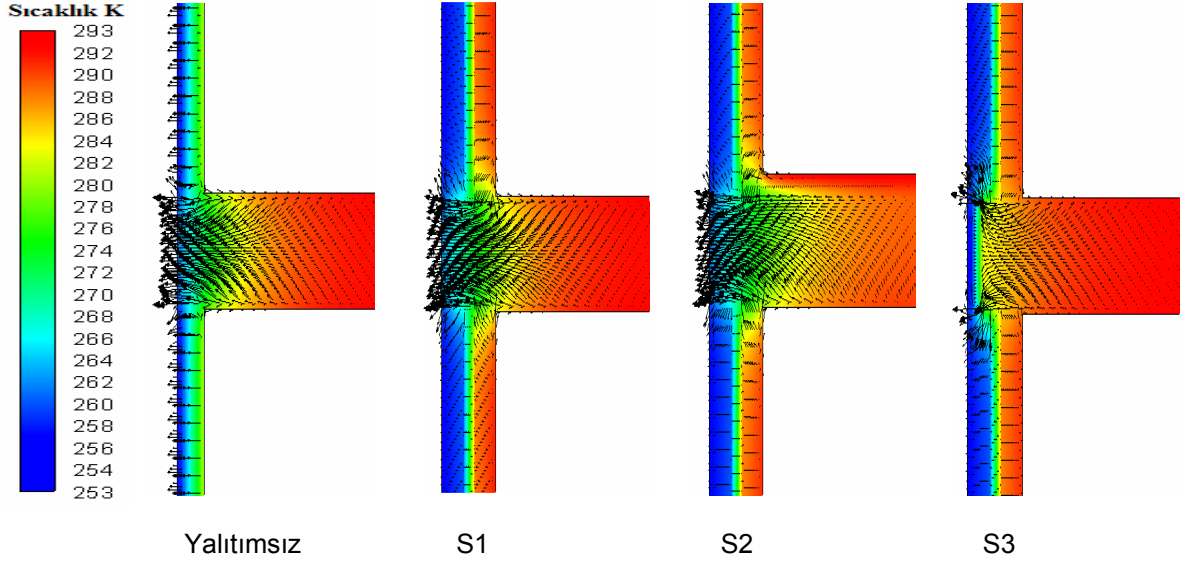
Şekil 14'de sandviç yalıtım durumunda ara kat döşemelerinde dış yüzeyde oluşan ısı akısı değişimleri görülmektedir. Yalıtımsız duruma göre kirişin orta kısmında ısı akısı değerinde, S1 modelinde % 22'lik, S2 modelinde % 32'lik ve S3 modelinde ise % 91'lik düşüş sağlanmaktadır. Görüldüğü gibi S3 modelinde uygulanan yalıtım, ısı köprüsü etkisini önlemede en etkili yöntemlerden biridir. Fakat bu modelde yalıtımda tam bir süreklilik sağlanamadığından kirişin alt ve üst kısmında ısı akısında lokal artışlar görülmektedir. Yalıtımlı duvar yüzeyinde de ısı akısında 86 W/m^2 'lik bir azalma olduğu görülmektedir.

Şekil 15'de sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerinde üst kat iç yüzeyde oluşan sıcaklık değişimleri görülmektedir. Sandviç yalıtımla, duvar kesitlerinden dış ortamdaki soğuk tarafta kalan duvar kesitine giriş iç yüzeyinden ısı kaybı artmakta ve bu nedenle S1 modelinde giriş yüzey sıcaklığı, yalıtımsız duruma göre daha az olmaktadır. En yüksek giriş yüzey sıcaklığına giriş yüzeyi yalıtımlı olan S2 modelinde erişilmektedir. Bu modelde ortalama giriş yüzey sıcaklığı $292,5 \text{ K}$ iken köşe noktasında $286,32 \text{ K}$ değerine kadar düşmektedir. Kiriş önü yalıtımlı olan S3 modelinde, S2 modelinde olduğu kadar yüksek giriş yüzey sıcaklıklarına erişilemese de köşe noktası sıcaklığının 288 K ile S2 modelinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu duruma girişte ısının depolanmasıyla ulaşılmaktadır. Her üç durumda da (S1, S2 ve S3) köşe noktasından sonra yalıtımlı duvar yüzeyinde sıcaklık artarak $290,8 \text{ K}$ olmaktadır.

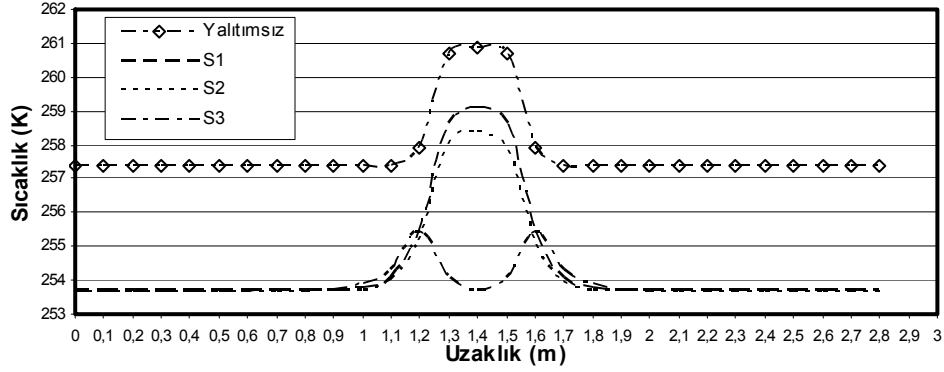
Şekil 16'da sandviç yalıtım durumunda ara kat döşemelerinde üst kat iç yüzey ısı akısı değişimleri görülmektedir. Yalıtımsız duruma göre, S1 modelinde sıcaklık düşüşüne bağlı olarak giriş yüzeyindeki ısı akısında artış görülmektedir. Kiriş yüzeyinde $0,5 \text{ m}$ uzaklıkta yalıtımsız durumda ısı akısı değeri, $24,6 \text{ W/m}^2$ iken, S1 modelinde 31 W/m^2 olmaktadır. En düşük ısı akısı değerine giriş yüzeyinin yalıtımlı olduğu S2 modelinde erişilmekte iken S3 modelinde yalıtımda sağlanamayan süreklilik giriş yüzeyinde ısı akısı değerinin artmasına neden olmaktadır. Tüm modellerde etkin ısı köprüsü özelliği olan köşe noktasında ısı akısı artarken, yalıtımlı duvar yüzeyinde azalarak 16 W/m^2 olmaktadır.



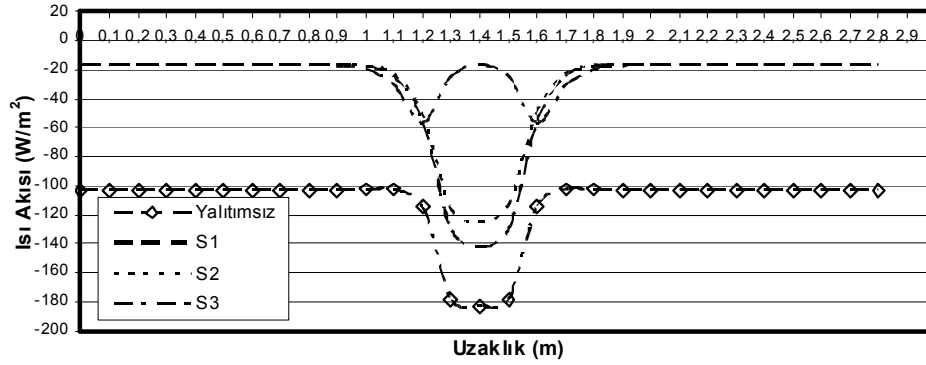
Şekil 11. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemeleri İçin Yapı Modelleri



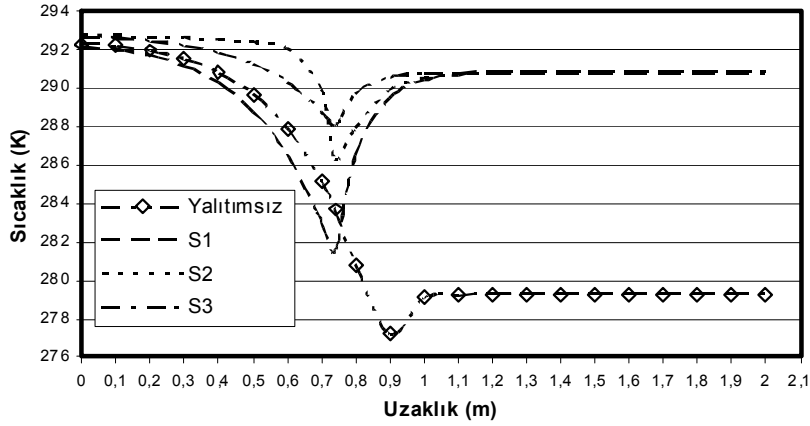
Şekil 12. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Sıcaklık Dağılımları



Şekil 13. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Dış Yüzey Sıcaklık Değişimleri



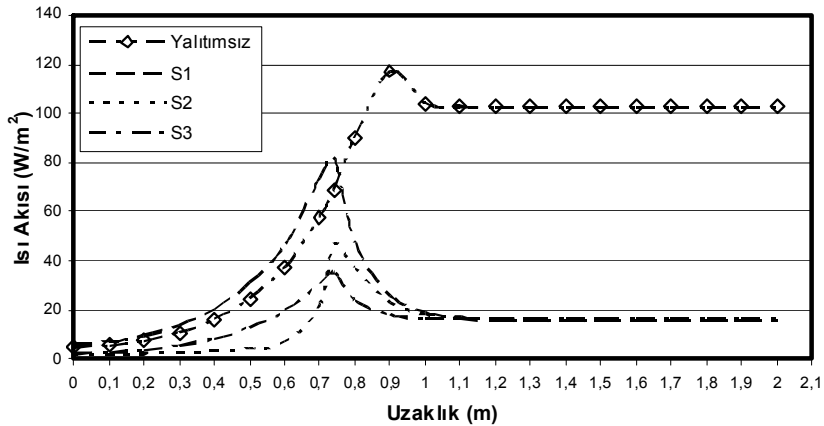
Şekil 14. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Dış Yüzey Isı Akısı Değişimleri



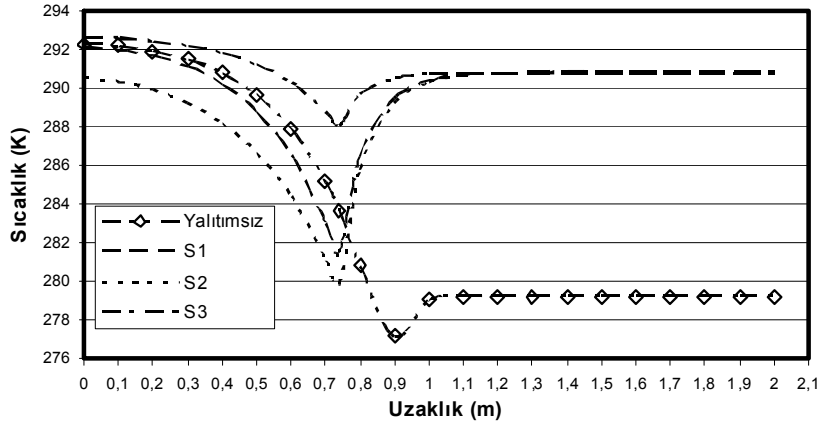
Şekil 15. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Üst Kat İç Yüzey Sıcaklık Değişimleri

Şekil 17'de sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerinde oluşan alt kat iç yüzey sıcaklık değişimleri görülmektedir. S2 modelinde üst kat kiriş yüzeyine uygulanan yalıtım, kiriş kesit sıcaklığının azalmasına ve alt katın kiriş iç yüzey sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Üst kata uygulanan yalıtım, üst kata olumlu yönde katkı yaparken, alt kata negatif etkiye bulunmaktadır. Yalıtımsız durumda kiriş yüzeyinde sıcaklık ortalama olarak 291 K civarında iken S2 modelinde ortalama 289 K civarındadır. S1 ve S3 modellerinde ise sonuçlar üst kat yüzeyi için elde edilen sonuçlarla aynı değerleri almaktadır.

Şekil 18'de sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerinde alt kat iç yüzey ısı akısındaki değişim görülmektedir. Kiriş yüzeyinde 0,4 m uzaklıkta, yalıtımsız durumda ısı akısı değeri, $16,21 \text{ W/m}^2$ iken S1 durumunda $20,45 \text{ W/m}^2$, S2 durumunda $35,68 \text{ W/m}^2$ ve S3 durumunda $8,41 \text{ W/m}^2$ 'dir. S2 durumunda, üst kata yapılan yalıtımın, alt kat için ısı akısı değerini artırdığı görülmektedir. Köşe noktası ısı akısı değerinde de $94,21 \text{ W/m}^2$ ile en yüksek ısı akısı değerine bu durumda ulaşılmaktadır. Köşe noktasından duvar yüzeyine doğru ısı akısı değeri azalmakta ve yalıtımlı duvar yüzeyinde yalıtımsız duruma göre yaklaşık % 84 oranında azalmaktadır.

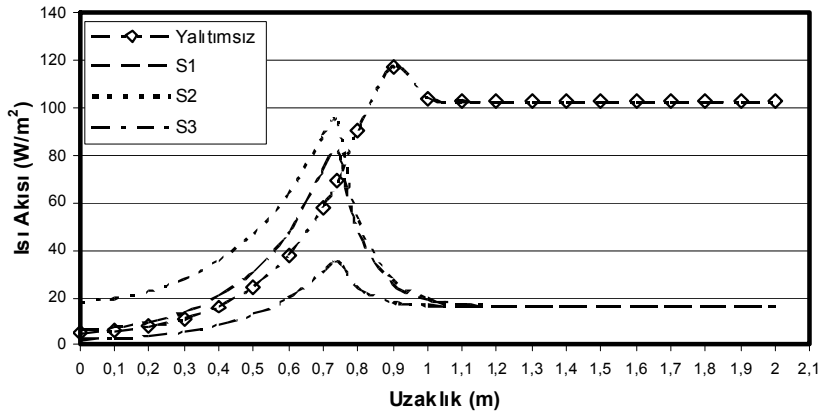


Şekil 16. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Üst Kat İç Yüzey Isı Akısı Değişimleri



Şekil 17. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Alt Kat İç Yüzey Sıcaklık Değişimleri

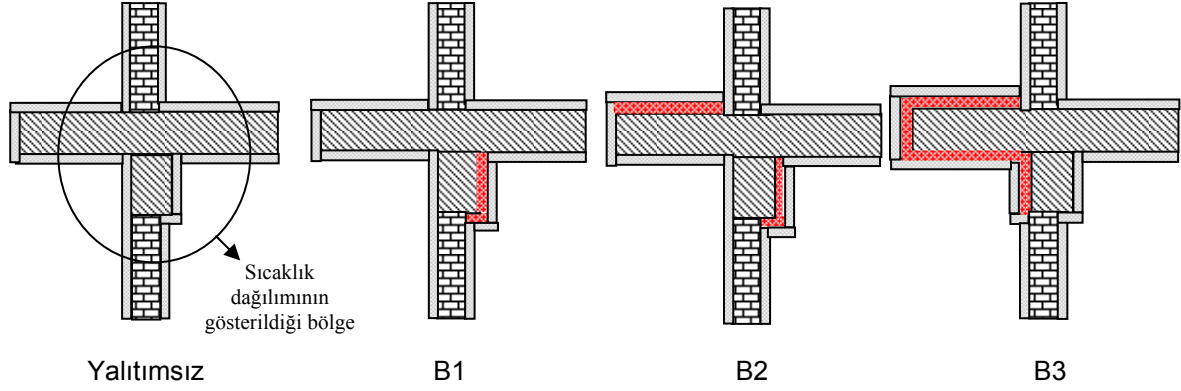
Şekil 19'da balkon uzantılı ara kat döşemesi için yapı modelleri gösterilmektedir. Şekil 20'de farklı şekillerde yalıtılmış balkon uzantılı ara kat döşemesindeki sıcaklık dağılımları ve ısı akısı vektörleri gösterilmektedir. Yalıtımsız durumda kiriş bölgesindeki ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu fazla iken içerden kiriş yüzeyine yalıtımın uygulandığı B1 ve B2 modellerinde yalıtımlı kısımlarda sıcaklık artmakta ve bu kısımlardaki ısı akısı vektörleri azalmaktadır. Fakat yalıtımın kesildiği noktalarda ısı akısı vektörlerinde artış gözlenmektedir. B2 modelinde dışarıdan üst kat balkon uzantısının yüzeyine de yalıtım uygulanarak soğuk dış ortam ile kiriş kesitinin teması kesildiğinden; kiriş uzantısının sıcaklığı artmakta ve bu kısımda ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu azalmaktadır. B3 modelinde, kiriş yüzeyi dışarıdan yalıtılarak kirişte ısı depolanması sağlanmakta ve böylece kiriş sıcaklığının arttığı görülmektedir. Ayrıca sıcaklık dağılımının gösterildiği bölge, yalıtımsız balkon uzantılı ara kat döşemesi modelinde daire içine alınarak belirtilmiştir.



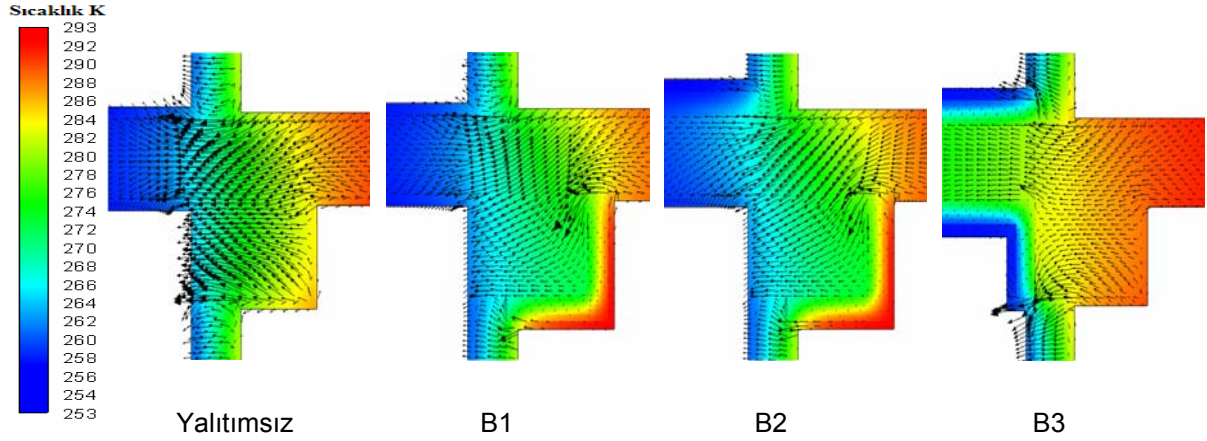
Şekil 18. Sandviç Yalıtımlı Ara Kat Döşemelerinde Oluşan Alt Kat İç Yüzey Isı Akısı Değişimleri

Şekil 21'de farklı şekillerde yalıtılmış balkon uzantılı ara kat döşemesindeki alt kat yüzey sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Yalıtımsız durumda alt kat duvar yüzeyinde ilerlerken köşe noktasına doğru sıcaklık azalarak tam köşede 275,29 K değerini almaktadır. İç ortama doğru olan köşe noktasında ise sıcaklık artarak 285,85 K olmakta iken kiriş yüzeyinde yukarı doğru çıkılırken sıcaklık tekrar azalmakta ve köşe noktasında 283,76 K olmaktadır. Alt katın tavan yüzeyinde (kiriş yüzeyi) sıcaklık artarak ortalama 292 K değerini almaktadır. B1 modelinde kiriş yüzeyine içten yalıtım uygulandığından köşe noktasında sıcaklık 279,75 K değerini almakta ve bu artış ikinci köşe noktasına kadar da devam ederek ikinci köşe noktasında 292,65 K olmaktadır. Daha sonra kiriş yüzeyinde yukarı doğru ilerlerken sıcaklık azalmakta ve yalıtımdaki süreksizlikten dolayı yukarıdaki köşe noktasında 285,97 K'e düşmektedir. İç ortama doğru kiriş yüzeyinde tekrar artışa geçmektedir. B2 modelinde dış taraftan üst kat kiriş yüzeyine yapılan yalıtım, dış ortama olan ısı kaybını azaltarak en üstteki köşe noktasında sıcaklığın B1 modeline göre 1,5 K artmasını sağlamaktadır. B3 modelinde yalnızca kiriş kısmını dış taraftan kaplayacak şekilde yalıtım uygulanmaktadır. Bu modelde, B1 ve B2

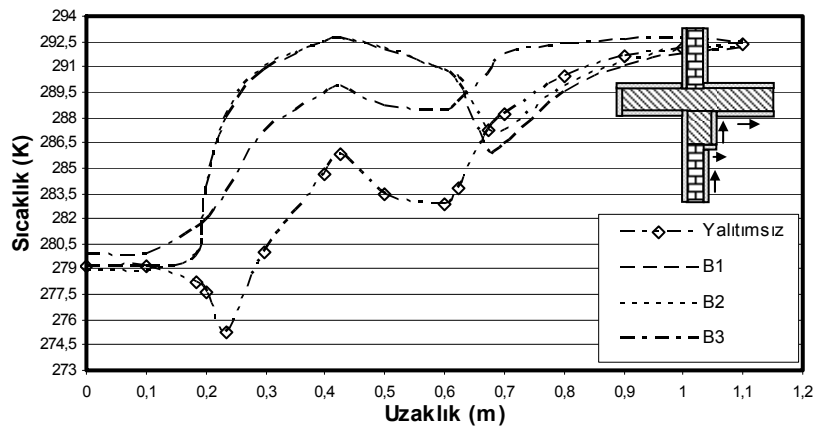
modellerine göre iç ortama doğru olan köşe noktasında sıcaklık düşüş görülsede yapıya ısı depolama özelliği kazandırıldığından dolayı ısı köprüsü etkisini azaltmada uygulanabilecek en uygun yöntemlerden biridir.



Şekil 19. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesi Yapı Modeli



Şekil 20. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesinde Oluşan Sıcaklık Dağılımları

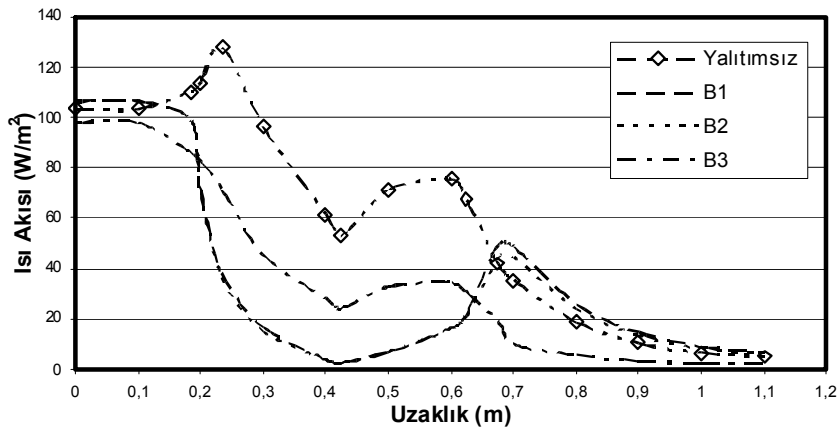


Şekil 21. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesinde Oluşan Alt Kat Yüzey Sıcaklık Değişimleri

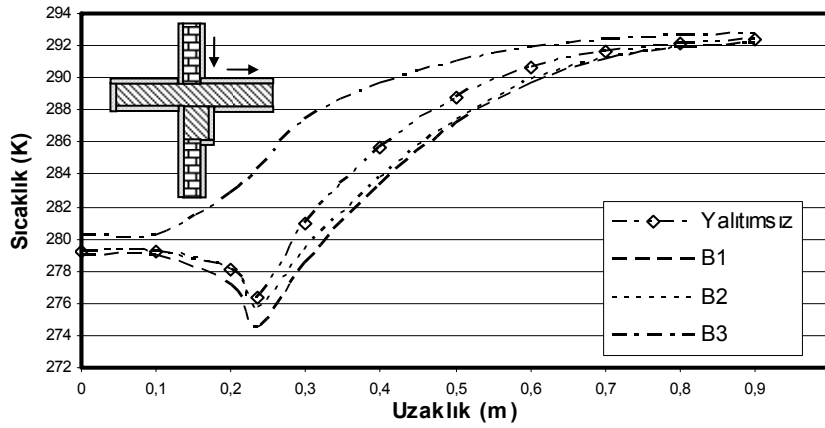
Şekil 22'de farklı şekillerde yalıtılmış balkon uzantılı ara kat döşemesindeki alt kat yüzey ısı akısı değişimleri gösterilmektedir. B3 modelinde uygulanan yalıtımla alt taraftaki duvar ile kirişin kesişim noktasındaki köşede ısı akısı, yalıtımsız duruma göre % 44,5 azalmaktadır. B2 modelinde kiriş yüzeyine dış ortamdan uygulanan yalıtımla üst taraftaki köşe noktasındaki ısı akısında B1 modeline

göre % 11'lik azalma sağlanmaktadır. Isı akısındaki bu azalmaya paralel olarak sıcaklıkta ise artış görülmektedir. Böylece, kiriş yüzeyine uygulanan yalıtımın ısı köprüsü etkisini azalttığı sonucuna varılmaktadır.

Şekil 23'de farklı şekillerde yalıtılmış balkon uzantılı ara kat döşemesindeki üst kat yüzey sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Yalıtımsız durumda üst kat duvardan köşe noktasına doğru sıcaklık azalmakta ve köşe noktasında 276,4 K olmaktadır. Köşe noktasından sonra kiriş yüzey sıcaklığında artış olduğu görülmektedir. B1 modelinde alt katın kiriş iç yüzeyine yapılan yalıtım, kirişe olan ısı iletimini azaltarak kiriş kesit sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Bu sebeple, B1 modelinde yalıtımsız duruma göre üst kat için daha düşük köşe noktası ve kiriş yüzey sıcaklığı elde edilmektedir. B2 modelinde üst kat kiriş yüzeyine uygulanan yalıtım, kiriş sıcaklığının artmasını sağlayarak B1 modeline göre az da olsa üst kat yüzey sıcaklık değerlerinin artmasını sağlamaktadır. B3 modelinde ise kirişte ısı depolanmasıyla, kiriş sıcaklığının artması sağlanarak, köşe noktası sıcaklığında 8 K'lık bir artış olmaktadır. Kiriş yüzeyinde de yalıtımsız ve diğer modellere göre sıcaklık değerinde artış olduğu görülmektedir.

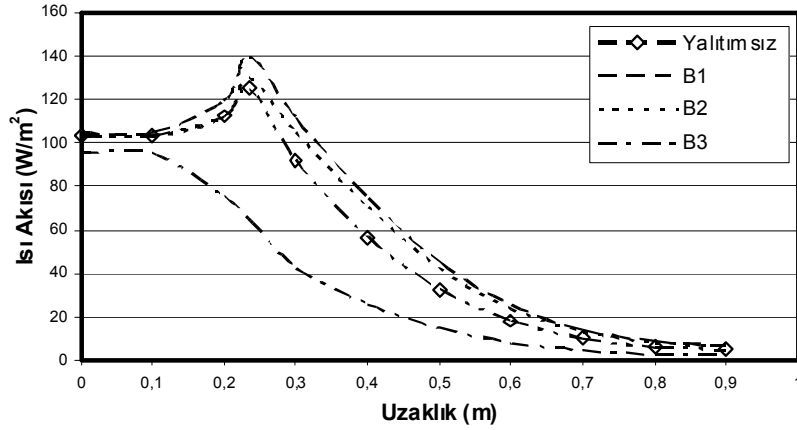


Şekil 22. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesinde Oluşan Alt Kat Yüzey Isı Akısı Değişimleri



Şekil 23. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesinde Oluşan Üst Kat Yüzey Sıcaklık Değişimleri

Şekil 24'de farklı şekillerde yalıtılmış balkon uzantılı ara kat döşemesindeki üst kat yüzey ısı akısı değişimleri gösterilmektedir. B1 ve B2 modellerinde sırasıyla yalıtımsız duruma göre köşe noktasında ısı akısı değerleri 14 W/m² ve 5 W/m² artarken, B3 modelinde 60 W/m² azalmaktadır. Bu modelde, kiriş yüzeyindeki ısı akısı değerinde de görülen azalma, B3 modelindeki ısı yalıtımının ısı köprüsü etkisini azaltmadaki etkinliğini göstermektedir.



Şekil 24. Balkon Uzantılı Ara Kat Döşemesinde Oluşan Üst Kat Yüzey Isı Akısı Değişimleri

SONUÇ

Isı köprüleri, binanın ortalama U değerinden daha fazla U (toplam ısı iletim katsayısı) değerine sahip olan sınırlı bölgelerdir. Bu bölgelerde meydana gelen ilave ısı kayıpları şu sonuçlara sebep olur:

- Yakıt tüketiminde artış,
- Isı akısında bölgesel artmalar ve iç yüzey sıcaklığında azalmalar,
- Bu bölgelerde terleme, küflenme ve sonuçta sağlıklı ve verimli bir çevre için ihtiyaç duyulan ısısal konforda eksiklik.

Beton elemanlarla duvarların birleştiği bölgelerde, beton elemanların ısı iletenliği duvarlardan daha fazla olduğundan, beton iç ortamdan dış ortama daha fazla ısı iletilmesine neden olur. Bu nedenle; betonla duvarın kesiştiği bölgede duvarın sıcaklığı betondan daha yüksektir, böylece iç yüzeye yakın bölgelerde ısı iletimi duvardan betona doğru olur. Diğer taraftan dış yüzeye yakın kesişimlerde, betonun sıcaklığı duvardan daha yüksektir ve ısı iletiminin betondan duvara doğru olduğu gözlemlenir. Bundan dolayı, dış beton elemanlar ve duvarların kesişimiyle oluşan dikey düzlemde ısı iletimi bir boyutludur. Fakat beton çevresinde ısı iletimi iki boyutludur. Eğer ısı köprülerinin bulunduğu bölgelerde sürekli bir ısı yalıtımı sağlanamazsa, iki boyutlu ısı iletimi daha önemli hale gelecektir. Bu durumda, ilave ısı kayıpları ve düşük iç yüzey sıcaklıklarıyla karşılaşmak kaçınılmazdır ve hatta yüksek olasılıkla bu yüzeylerde terleme ve küflenme görülecektir. Bu çalışmada, yalıtımın ve ısı köprülerinin önemi vurgulanmış ve farklı geometrilerde ısı köprüsü etkisinin görüldüğü bölgeler; 5 cm yalıtım kalınlığında ara kat kirişli duvar bloğu ısı köprüsü modelinde içten ve sandviç yalıtımlı, balkon uzantılı ara kat kirişli duvar bloğu ısı köprüsü modelinde ise kiriş yüzeyinde farklı şekillerde yalıtımlı olduğu durumlarda Fluent paket programı kullanılarak hesaplanmıştır.

İçten yalıtımlı ara kat döşemelerinde, yalıtımsız durumla karşılaştırıldığında İ3 durumunda dış yüzeyde kirişin orta kısmındaki ısı akısı değerinde % 90'a varan oranda düşüş görülmektedir. Dış duvar yüzey ısı akısı değerine bakıldığında ise, yalıtımlı duvar yüzeylerinde yalıtımsız duruma göre % 83,5 oranında azalma olmaktadır. Ancak İ3 durumunda, yalıtımdaki süreksizlik nedeniyle kirişin alt ve üst kısmında sıcaklıkta sıçramalar görülmektedir. İç yüzey sıcaklık değişimlerine bakıldığında üst kat için en iyi sonuca taban yalıtımlı olan İ2 durumunda erişilmekte iken, alt kat için İ3 modelinde erişilmektedir. Köşe noktasındaki ısı köprüsü etkisi, bu noktadaki sıcaklık değerlerindeki belirgin düşüşle kendisini hissettirmektedir. Ancak uygulanan yalıtım şekilleriyle buralardaki sıcaklık değerlerinde de yalıtımsız duruma göre artış olduğu görülmektedir. Ayrıca günümüzde yapılarda doğalgazla birlikte kombi kullanımının yaygınlaşması ile müstakil ısınma ön plana çıkmıştır. Bu nedenle döşeme yalıtımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Böylece hem katlar arası ısı kaybının önüne geçilebilme hem de ısı köprüsü etkisi büyük oranda önlenmektedir.

Sandviç yalıtımlı ara kat döşemelerinde de dış ortama olan ısı iletiminin azaltılmasında kabul edilebilir sonuçlara sandviç duvar yalıtımına ek olarak kiriş önü de yalıtımlı olan S3 durumunda ulaşılmaktadır. Böylece kirişe ısı depolama özelliği kazandırılarak, kirişin dezavantajlı etkisi avantaja dönüştürülebilmektedir. S2 durumunda üst kat iç yüzey sıcaklığı, yalıtımdan dolayı artmaktadır. Ancak alt kat yüzey sıcaklığına bu durumun olumsuz etkisi olduğundan dolayı, alt kat için daha yüksek yüzey sıcaklıkları S3 modelinde elde edilmektedir. Köşe noktası ısı akısı değerlerindeki artma, ısı köprüsü etkisinin devam ettiğini göstermektedir.

Balkon uzantılı ara kat döşemelerinde oluşan ısı köprüsü etkisi kendisini iç yüzey sıcaklığındaki azalma ile göstermektedir. Alt kat yüzey sıcaklığı için kiriş yüzeyleri içten yalıtımlı olan B1 ve B2 modellerinde, bu kısımlarda yüksek sıcaklıklara erişilmekte ve üst taraftaki köşe noktasından itibaren kiriş yüzeyinde sıcaklık tekrar artmaya başlamaktadır. Ancak B2 modeli ayrıca dıştaki kiriş yüzeyinden yalıtımlı olduğundan B1'e göre kiriş yüzey sıcaklığı daha fazladır. B3 modelinde ise kiriş yüzeyinde daha düşük sıcaklıklar elde edilmesine rağmen hem kirişte ısı depolanması sağlanmakta hem de üst taraftaki köşe noktasından itibaren kiriş yüzey sıcaklığı diğer durumlara göre (B1 ve B2) daha fazla artmaktadır. Üst kat iç yüzey sıcaklığı için en yüksek sıcaklık değerlerine B3 modelinde erişilmekte iken, B2 modelindeki sıcaklık değeri B1'den daha fazla olmaktadır.

Sıcaklık konturları, ısı akısı, noktasal sıcaklık ve dış ısı akısı değişimleri farklı geometrilerden oluşan ısı köprüsü modelleri için hesaplanmıştır. Ayrıca ısı köprüsü etkisini azaltmak için kiriş kısmına yalıtım uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

SEMBOLLER

h	: ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k	: ısı iletim katsayısı (W/mK)
T	: sıcaklık (K)
x	: duvar kalınlığı boyunca koordinat eksenini (m)
y	: duvar yüksekliği boyunca koordinat eksenini (m)
L	: duvar kalınlığı (m)

İNDİSLER

i	: iç
o	: dış
n	: iç duvar tabakası
l	: dış duvar tabakası

KAYNAKLAR

- [1] EN ISO 10211-1, "Thermal Bridges in Building Construction", Heat Flows and Surface Temperatures, Part 1, General Calculation Methods, 1995.
- [2] CSTB, "Reglementation Thermique", CSTB, Paris, Chapter 2, 3-5, 2000.

- [3] DILMAC, S., GUNER, A., SENKAL, F., KARTAL, S., “Simple Method for Calculation of Heat Loss Through Flor/Beam-Wall Intersections According to ISO 9164”, Energy Conversion&Management 48, 826-835, 2007.
- [4] LARBİ, AB., “Statistical Modelling of Heat Transfer for Thermal Bridges of Buildings”, Energy and Buildings 37, 945–951, 2005.
- [5] 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.
- [6] MAO, G., JOHANNESSON, G., “Dynamic Calculation of Thermal Bridges”, Energy and Buildings, 26, 233–240, 1997.
- [7] KARABULUT, K., BUYRUK, E., FERTELLİ, A., “Numerical Investigation of Heat Transfer for Thermal Bridges Taking into Consideration Location of Thermal Insulation with Different Geometries”, Strojarstvo, 51, 431-439, 2009.
- [8] SALGON, JJ., NEVEU, A., “Application of Modal Analysis to Modelling of Thermal Bridges”, Energy and Buildings, 10, 109-120, 1987.
- [9] HASSID, S., “Thermal bridges across multilayer walls: an integral approach”, Building and Environment, 25, 143-150, 1990.
- [10] KARAKOC, H., “Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı”, 2001.
- [11] DILMAC, S., CAN, A., SENKAL SEZER, F., “Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçeriden ve Dışarıdan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 80, s. 7-20, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Koray KARABULUT

1984 yılı Samsun doğumludur. 2007 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2009 yılında aynı üniversitede Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünde 2010 yılında Yüksek Lisansını tamamlamış ve Doktora eğitimine başlamıştır. Halen Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında Doktora eğitimine devam etmektedir.

Ertan BUYRUK

1970 yılı Sivas doğumludur. 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiş ve aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır. 1992–1996 yılları arasında Liverpool Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde doktorasını tamamlamıştır. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent ve 2009 yılında ise Profesörlük unvanını almıştır. Evli ve bir erkek çocuk babasıdır.