

FARKLI YALITIM UYGULAMALARININ ISI KAYBINA OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ

Ferhat KILINÇ
Ertan BUYRUK
Ahmet FERTELLİ
Koray KARABULUT

ÖZET

Bu çalışmada; farklı ısı yalıtım uygulamalarının ısı transferi yapıları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla Sivas ili Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde yaklaşık 30 m² alana sahip iki odalı bir bina inşa edilmiştir. Uygulama binasının farklı duvarlarında bulunan delikli tuğla üzerine içten, dıştan ve sandviç olmak üzere farklı ısı yalıtım uygulamaları yapılmıştır. Binanın tamamının termal kamera ile iç ve dış yüzey çekimleri yapılarak sıcaklık haritaları çıkarılmıştır. Uygulama yapılan duvarların ara katmanlarındaki sıcaklıklar da kayıt altına alınmıştır. Böylece içten dışa doğru duvara ait her katmandaki sıcaklık değerleri elde edilerek grafik haline getirilmiştir. Hesaplamalar, Fluent paket programı kullanılarak yapılmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı, Termal görüntüleme, Fluent, Enerji Tasarrufu.

ABSTRACT

In this study, heat transfer structures of different insulation applications were analyzed numerically and experimentally. A small house was constructed at Cumhuriyet University campus in Sivas about 30 m² with two rooms. The application on different walls of the structure the hollow bricks are made with interior, exterior and sandwich wall insulations. In addition, inner and outer wall surface temperatures were imaged of the entire building with thermal camera. Layer temperatures of the insulation applied walls were recorded. Calculations which are made using Fluent program were compared with the experimental results.

Key words: Thermal insulation, Thermal imaging, Fluent, Energy saving.

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji korunumu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığını uygulamaktır. Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir [1].

Yapıların uzun yıllar boyunca değerini koruması ancak yapı iyi tasarlanmışsa, iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmuşsa gerçekleşebilir. Yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunması; yalıtım ile sağlanabilir. Yalıtım sistemlerinin esas amacı; yapı bileşenleri ve taşıyıcı sistemi dış etkenlerden koruyarak; kullanım amacına uygun sağlık ve konfor şartlarının yapı içerisinde hüküm

sürmesini sağlamaktır. Bina içerisinde konforlu yaşam koşullarının oluşturulması insan sağlığı için ne kadar önemli ise yapının dış etkenlere karşı korunması da içerisinde yaşadığımız, sağlam ve uzun ömürlü olmasını beklediğimiz yapılar için aynı öneme sahiptir [2].

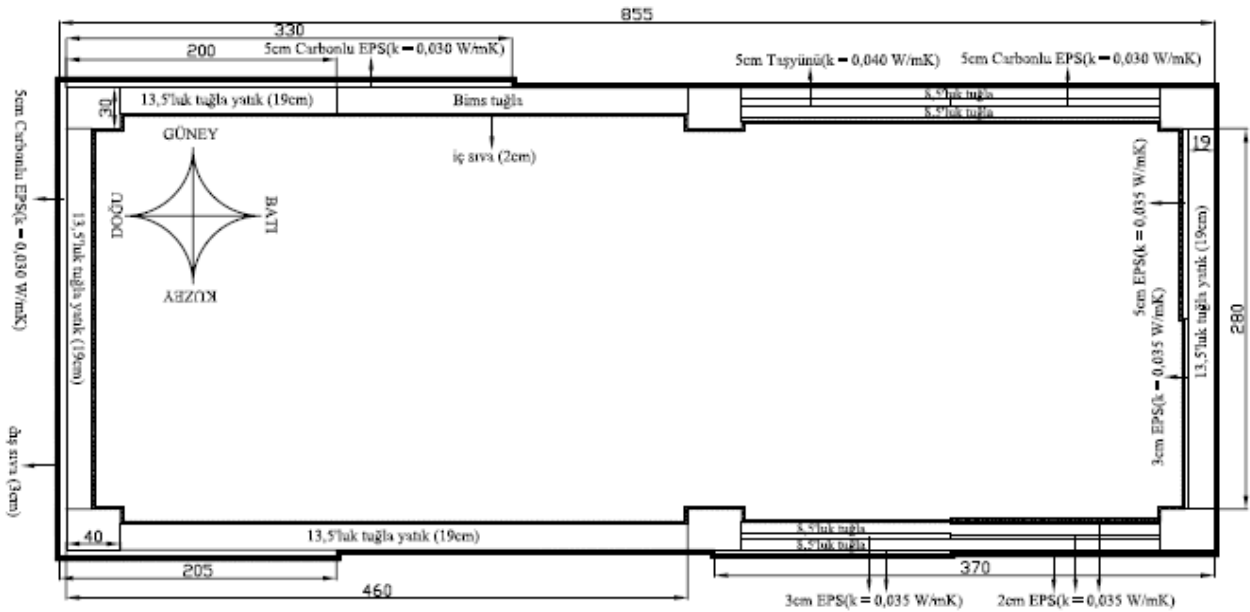
Binalarımızda ısı kayıpları her yönden olmaktadır. 4 katlı bir binayı incelediğimizde ısı kayıplarının yaklaşık %25'i çatıdan, %60'ı duvarlardan, %15'i de döşemeden kaçmaktadır. Binalarda kat yüksekliğinin artması, duvar yüzey alanını büyüteceğinden, duvardan olan kayıpları oran olarak arttırmaktadır. TS 825'in yeni projelerde uygulanmaya başlanması, sağladığı yararların yalıtımsız binalarda yaşayan kişilerin sıkıntı çektikleri konulara çözüm olduğunun görülmesi, ısı yalıtımının da kendisini 3–4 sene içinde amorti edeceğinin bilinmesi yaşanan konutlardaki yalıtım taleplerini her geçen gün arttırmaktadır [3].

Görüldüğü üzere binalarda ısı kayıplarının yarısından fazlasını duvarlar oluşturmaktadır. Bu nedenle Sivas ili için yapılan çalışmada; duvarlardaki ısı kayıplarını en aza indireyecek farklı yalıtım malzemelerinin uygulamaları yapılmıştır. Aynı yalıtım malzemelerinin farklı şekillerde uygulaması yapılarak en uygun yalıtım uygulamasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Duvarlardan ısı kayıplarının temel konularından olan, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesiyle ilgili olarak literatürde ulusal ve uluslar arası birçok yayın mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde, Özel ve Pıhtılı [4], duvarlara uygulanan yalıtımın farklı konumlarının ısı kazanç ve kayıplarına etkisini sonlu farklar yöntemi ile çözümlenmişlerdir. 6 cm kalınlığa sahip yalıtım malzemesini duvara 5 farklı şekilde konumlandırarak; yaz ve kış aylarında, hem ısı kazancı hem de ısı kaybı açısından en iyi konumlandırma durumunun üç parça yalıtım konumlandırma durumu olan birbirine eşit üç parça halinde yalıtımın içte, ortada ve dışta olması durumunda olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları diğer çalışmalarında ise, duvar yönünün yalıtım kalınlığına olan etkisini incelemiş ve özellikle dıştan yalıtımlı duvarlardaki bina yönünün yalıtım kalınlıklarına olan etkisini ısı kazanç ve kaybı açısından üç il için detaylı olarak araştırmışlardır [5]. Özel ve Duranay [6], farklı yönlere bakan bina duvarlarında duvar kalınlığı ile yalıtım kalınlığı arasındaki ilişkiyi ısı yük seviyesi bakımından bilgisayar programı kullanarak matematiksel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, farklı yönlere bakan tuğla duvarın sırasıyla dış yüzeyinden, iç yüzeyinden ve ortasından itibaren artan yalıtım kalınlıklarına göre ısı yük seviye parametrelerinin değişimlerini incelemişlerdir. Gölcü vd. [7], Denizli için; binaların ısıtılmasında iki farklı enerji kaynağı ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanarak dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizini (LCCA) kullanmışlardır. Binanın yapısında duvarlarla birlikte bir bütünlük oluşturan ve ısı direncini önemli bir şekilde değiştiren kolon ve kirişlerin oluşturduğu ısı köprülerinin yalıtımı da duvarlar kadar önemlidir. Karabulut [8], ısı köprüleri hakkında bilgi vererek, kirişlerden oluşan ısı köprüleri üzerinde farklı geometrilerin, dış ve iç ortam sıcaklığının ve yalıtım kalınlığının sıcaklık dağılımına etkisini incelemiş ve iç ve dış yüzey sıcaklık ve ısı akılarının değişimini kıyaslamıştır. Karabulut ve Buyruk [9], yaptıkları çalışmada içten ve sandviç yalıtımlı ara kat döşemeli ve dıştan ve içten farklı şekillerde yalıtımlı balkon uzantılı ısı köprülerinin yapıdan olan ısı kayıpları üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişler ve ara kat döşemeli ısı köprüsü için duvar yalıtımına ek olarak giriş önünün de yalıtıldığı durumda ısı transferi miktarında % 89' luk azalma sağlamışlardır. Erdabak [10], Sivas'ta bulunan değişik binaların iç ve dış ortamlarından, termal kamera çekimleri yaparak, özellikle binalarda ısı kaybının gerçekleşebileceği kritik bölgeler üzerine yoğunlaşmıştır. Elde edilen görüntülerin bilgisayar ortamında analizinin yapılması sonucunda yüzey sıcaklık haritalarını elde etmiştir. Buyruk vd. [11], Sivas ilindeki mevcut binalar için; kolon, giriş, duvar köşeleri ve pencereler gibi farklı yapı elemanlarındaki ısı köprülerini incelemişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmını termal görüntüleme ile sayısal kısmını ise Fluent programıyla gerçekleştirmişlerdir. Farklı yalıtım kalınlıkları için dıştan yalıtım uygulaması modellerini incelemişler ve uygun yalıtım kalınlığını araştırmışlardır. Karabulut vd. [12], yalıtımın konumunun ve kalınlığının değiştirilmesinin ara kat ve balkon uzantılı kirişlerin oluşturduğu iki boyutlu ısı köprülerindeki ısı kaybı üzerindeki etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır. Buyruk vd. [13], dıştan ve sandviç yalıtımlı balkon uzantılarının ve içten yalıtımlı ara kat döşemeleri için kirişlerden oluşan ısı köprülerinin, binanın ısı performansını üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir.

Günümüzde yalıtımın öneminin daha iyi anlaşılmasıyla, yalıtım sektörü her geçen gün büyümektedir. Böylece yapılan ar-ge çalışmalarıyla farklı özelliklerde yenilikçi yalıtım malzemeleri üretilmektedir. Fakat bunların değişik şekillerde uygulamasının yapılarak, ısı performanslarının belirlenmesi hem üretici hem de tüketiciler için önemli faydalar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, duvarlardaki ısı kayıplarını en aza indireyecek farklı yalıtım malzemelerinin uygulamaları yapılmış ve aynı yalıtım malzemelerinin farklı şekillerde uygulaması yapılarak en uygun yalıtım uygulamasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Binanın kış sezonu boyunca dış ve iç yüzey sıcaklık değerleri termal kamera kullanılmasıyla kayıt altına alınarak, yapılan çalışmalarla meydana gelen ısı kayıpları belirlenmiş ve doğru uygulama ve malzeme kullanımının önemi vurgulanmıştır. Ayrıca, inşa edilen binanın sonlu hacimler yöntemine dayalı (Fluent) bilgisayar programında üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Böylece aynı sınır koşulları zamandan bağımsız olarak sağlanmış ve etkileri deneysel yöntemle karşılaştırılmıştır. İç ve dış yüzey sıcaklık dağılımlarının zamandan bağımsız olarak nasıl değiştiği grafiklerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

2. DENEYSEL SİSTEM



Şekil 1. Binanın Mimari Planı

Sivas ili Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde yaklaşık 30 m² alana sahip iki odalı bir bina inşa edilmiştir. Şekil 1' de binanın mimari planı verilmiş ve plan üzerinde kullanılan tüm malzemeler ve yapılan tüm uygulamalar gösterilmiştir. Güneydoğu yönünde ilk olarak 2 m uzunluğunda 5 cm karbonlu-EPS yalıtımlı 19 cm kalınlığında tuğla duvar, devamında 1,3 m karbonlu-EPS yalıtımlı 19 cm bims ve kolona kadar 1,3 m yalıtımsız bims bulunmaktadır. Orta kısımdaki kolondan batı yönüne sırasıyla 1,5 m uzunluğunda 8,5 cm tuğla, 5 cm taşıyünü ve 8,5 cm tuğladan oluşan sandviç duvar ve aynı uzunlukta 8,5 cm tuğla, 5 cm karbonlu-EPS ve 8,5 cm tuğladan oluşan sandviç duvar bulunmaktadır. Batı cephesinde 3 ve 5cm EPS kullanılarak içten yalıtım uygulaması yapılmıştır.

Kuzeybatı cephede 6cm EPS yalıtım malzemesi, 3+3cm ve 2+2+2cm olarak farklı pozisyonlarda yerleştirilmiştir. Bu duvarın devamında yine kuzey cephede tak-çıkarak farklı kalınlıklarda EPS yalıtım malzemesi uygulaması yapılmıştır.

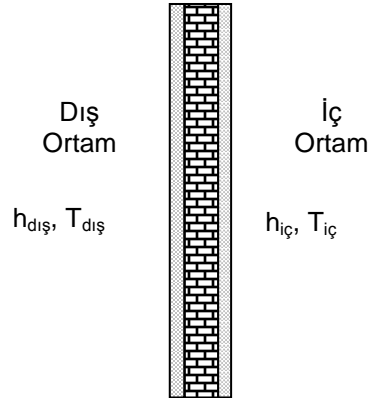
Bu deneysel çalışmada, sandviç duvar ve içten yalıtılmış duvar uygulamaları üzerinde durulmuştur. Farklı iç ve dış ortam sıcaklıklarında farklı günlerde yapılan termal kamera çekimlerinin analizleri yapılmıştır. ThermaCAM Researcher 2001 programı kullanılarak termal kamera resimleri (IR-kızılötesi görüntüleri) üzerinde belirli noktalardaki sıcaklık değerleri alınmış ve duvar yüzeyindeki sıcaklık dağılımlarının grafikleri oluşturulmuştur.

Termal kameralar, görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjisi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Normal kameralar görüntüyü ışık sayesinde oluştururken, termal kameralar görüntüyü ısı sayesinde oluştururlar. Genelde güvenlik amaçlı da kullanılabilir ama çok çeşitli sektörlerin de kullanımına açıktır. Özellikle ısıya güdümlü füze, gece görüş sistemleri ve benzeri askeri tekniklerin gelişmesi ile önemi artmıştır.

IR (kızıl ötesi) algılayıcılarıyla cisimlerin ısılarını algırlar. Siyah beyaz veya renkli (kırmızı sıcak, siyah soğuk) gibi renklerden siyah - kırmızı arasında oluşan bir görüntü verir. Bu tür kameralarda kullanılan objektifler çok küçük sıcaklık farklarını yakalayabilen (0.01°C gibi) ve bu farklılıktan görüntü oluşturabilen özelliklerdedir. Ayrıca görüntü oluşturabildikleri belli bir sıcaklık aralığına sahiptirler. Her sıcaklık değerinde farklı IR yayımlar olduğu ve her IR yayılımının farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu objektifler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler [10].

3. SAYISAL MODELLEME

Tüm analizler için kullanılan yapı malzemelerinin ısı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir ve modellerdeki yalıtımlı duvar şekilleri yapılaraya uygulanabilme özelliği taşımaktadır. Binanın duvar 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 6 milyon ile 6,5 milyon arasında elemandan oluşan tetrahedral ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 2. Problemin Örnek Yapı Şekli ve Sınır Koşullarının Gösterimi

Bu çalışma belirtilen kabuller altında yapılmıştır: (i) ısı üretimi yok (ii) sabit ısı özellikler (iii) tabakalar arasında ısı temasının tam olduğu (iv) dış ve iç yüzeyde sabit ısı taşınım katsayısı. Güneş enerjisi kaynaklı ışınlamalar, termal çekimlerde kardan dolayı oluşan ışınlamalar, rüzgâr ve bina yönünden kaynaklanan etkilerin hiçbirisi sayısal çalışmada bulunmamaktadır. Bunların sonucu olarak; sayısal çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır.

Sayısal çözümlemedeki sınır şartları ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.

- a) İç yüzey ($x=L$):

$$k_{iç} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{iç} (T_{x=L} - T_{iç}) \quad (1)$$

$h_{iç}$, iç ortam ısı taşınım katsayısı, $T_{iç}$, iç ortam sıcaklığıdır.

b) Dış yüzey ($x=0$):

$$k_{dış} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_{dış} (T_{dış} - T_{x=0}) \quad (2)$$

$h_{dış}$, dış ortam ısı taşınım katsayısı, $T_{dış}$ ise dış ortam sıcaklığıdır [12].

Bütün analizlerde, dış ortam ve iç ortam ısı taşınım katsayıları sırasıyla 25 W/m²K ve 7.7 W/m²K olarak alınmıştır [15].

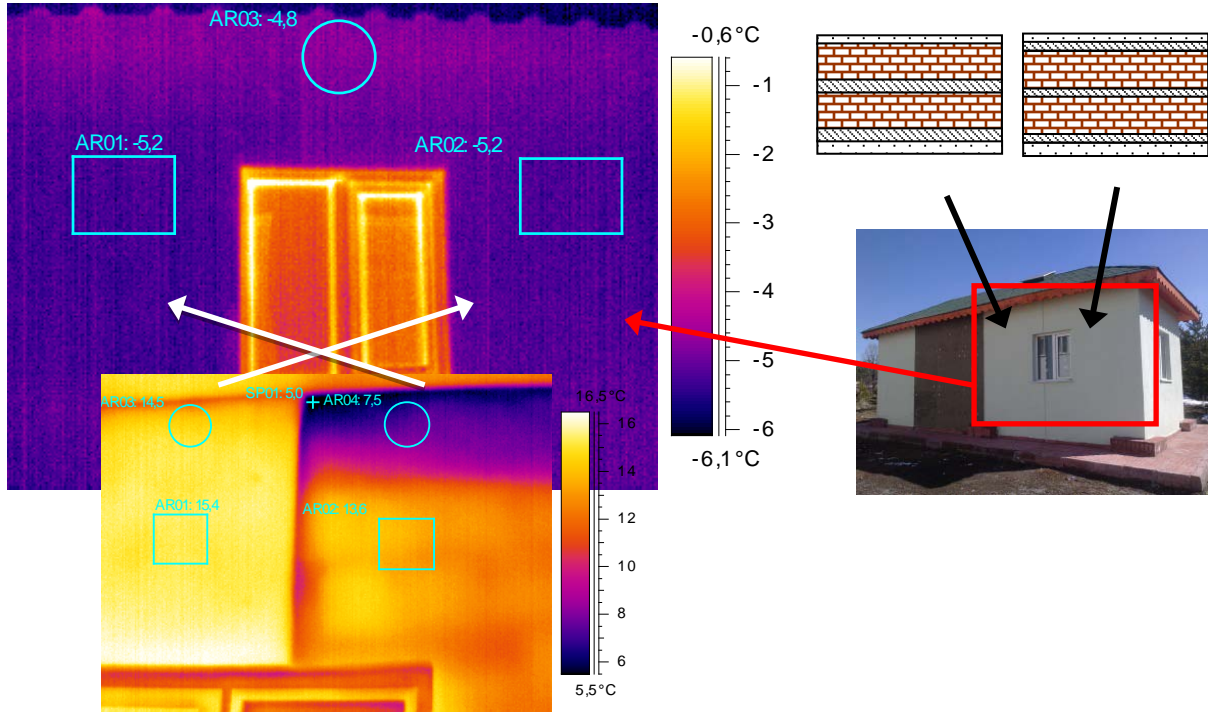
Tablo 1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri [14]

Malzemeler	ρ (kg/m ³)	Cp (kJ/kgK)	k (W/mK)
Taşyünü	150	850	0,04
EPS (düz)	16	1210	0,035
EPS (karbonlu)	16	1210	0,03
Bims	600	800	0,19
Tuğla	1000	835	0,45
Donatılı beton	2200	870	2,1
Dış sıva	1680	1085	1,4
İç sıva	1803	1085	0,87

4. SONUÇLAR

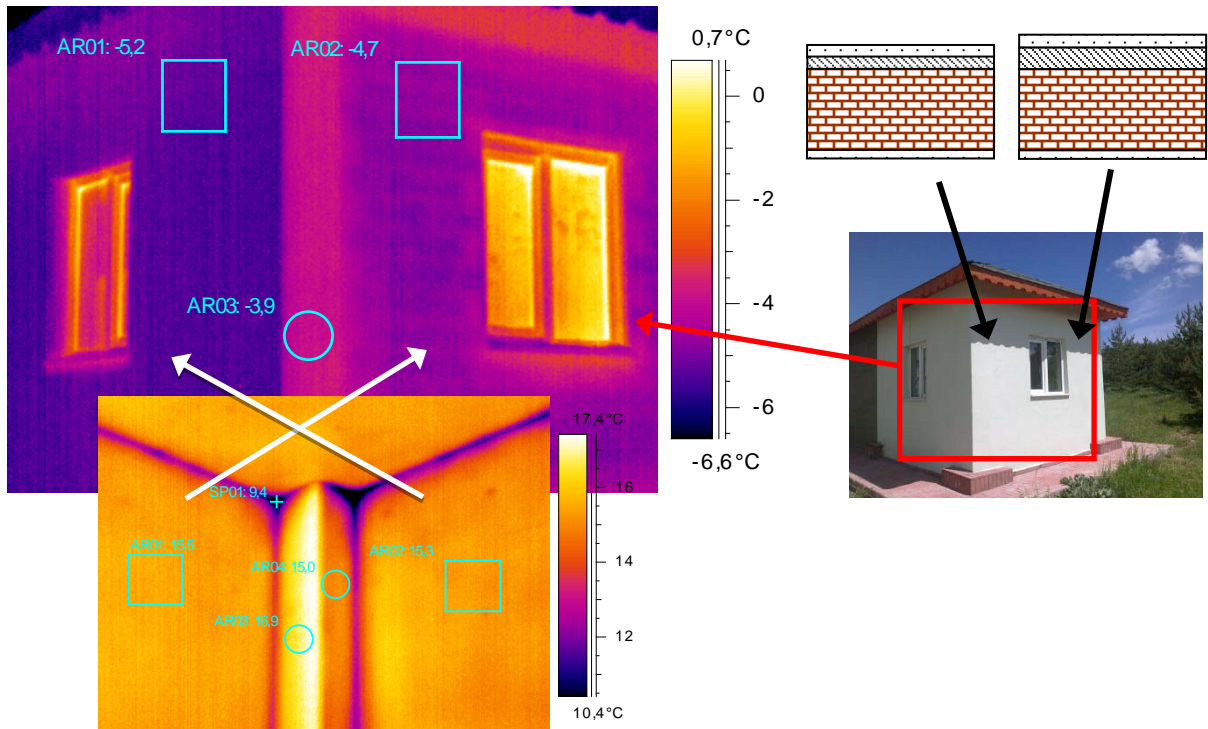
4.1 Deneysel Sonuçlar

Şekil 3'te 6 cm ısı yalıtımının (3+3 cm) ve (2+2+2 cm) olarak uygulandığı binaya ait içten ve dıştan çekilmiş termal kamera görüntüsü bulunmaktadır. Dıştan çekilmiş görüntüde duvar yüzeyinin her iki uygulama için de -5.2 °C olduğu görülmektedir. Yalıtım malzemelerinin birleşme yerinde ve saçak kısımlarındaki giriş bölgesinde oluşan ısı köprüleri nedeniyle sıcaklık daha düşüktür. Dıştan bir fark olmasa da içten çekilen görüntü de (2+2+2 cm) olarak yapılan uygulamanın iç yüzey sıcaklığının (15.4 °C) ile (3+3 cm) olarak uygulanan duvardan (13.6 °C) daha sıcak olduğu görülmektedir. Duvarın giriş kısmında oluşan ısı köprüsü daha belirgin olarak görülmektedir. Özellikle (3+3 cm) uygulanan duvarda yüzey sıcaklığı 7.5 °C değerine kadar düşmüştür.



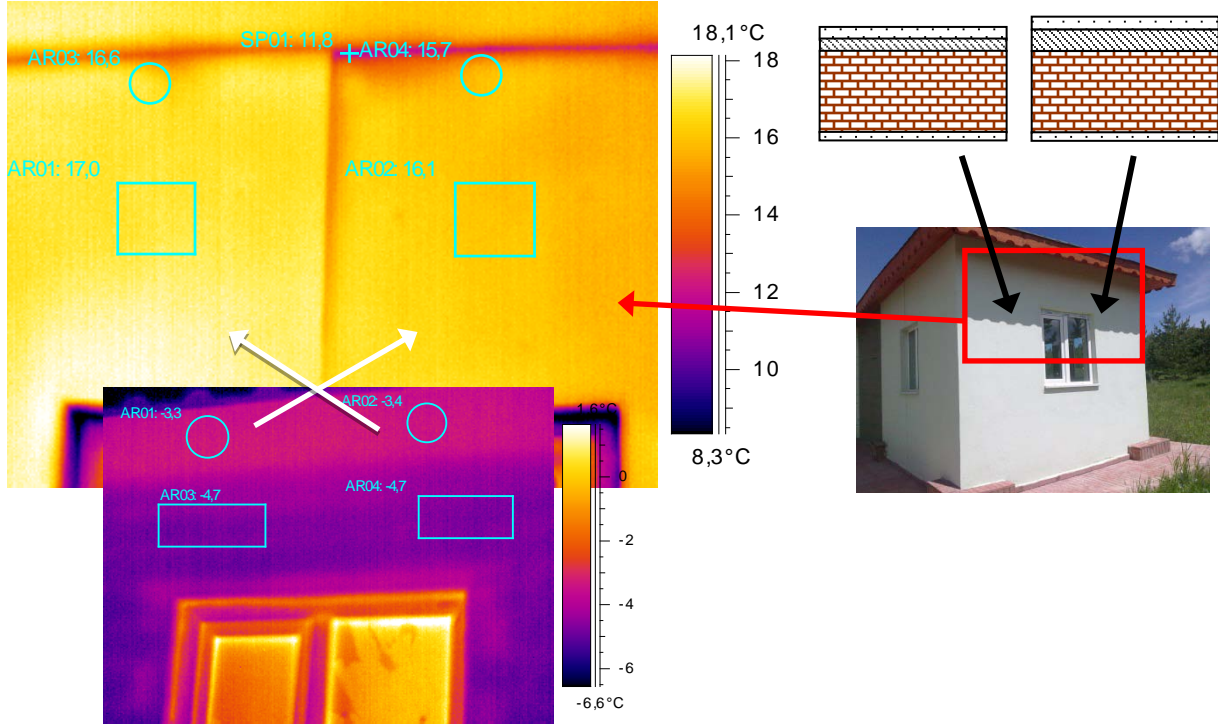
Şekil 3. Kuzey Cephe (6 cm) Sandviç Duvar Yalıtım Uygulaması ($T_{iç}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Duvarın katmanları arasındaki sıcaklık değerleri de termokupllar kullanılarak ölçülmüş, dış ortam $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve iç ortam $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken dıştan içe doğru her bir katman için sırasıyla (2+2+2 cm duvarda); dış yüzey $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve iç yüzey sıcaklığı $15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde (3+3 cm) duvar için; dış yüzey $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve iç yüzey sıcaklığı $13.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ elde edilmiştir.



Şekil 4. Kuzeybatı Cephe (6 cm) Sandviç İle (3 - 5 cm) İçten Duvar Yalıtım Uygulaması ($T_{iç}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{dış}=-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Şekil 4'te (6 cm) sandviç duvar ile (3 - 5 cm) içten yalıtımlı duvarın köşesine ait termal görüntüde ilk göze çarpan kolon ve kirişlerde oluşan ısı köprüleridir. Görüntünün sağ tarafındaki yalıtım uygulaması ısı köprülerinin önlenmesi için içten yalıtım yapılmasının uygun olmadığını belirgin olarak ortaya koymaktadır. Şekilin alt kısmındaki iç ortam görüntüsünde de yine kolon ve kirişlerdeki ısı köprülerinin oluşturduğu sıcaklık farkları açıkça görülmektedir. Özellikle kolon ve kirişlerin birleşme yerlerinde 6 °C değerlere varan sıcaklık farkları oluşmuştur. İç duvar sıcaklığı 15.5 °C civarlarında iken birleşme noktasında 9.4 °C değerine kadar düşmüştür.



Şekil 5. Batı Cephe (5 cm) ve (3 cm) İçten Yalıtım Duvar Uygulaması ($T_{iç}=18\text{ °C}$, $T_{dış}=-5.5\text{ °C}$)

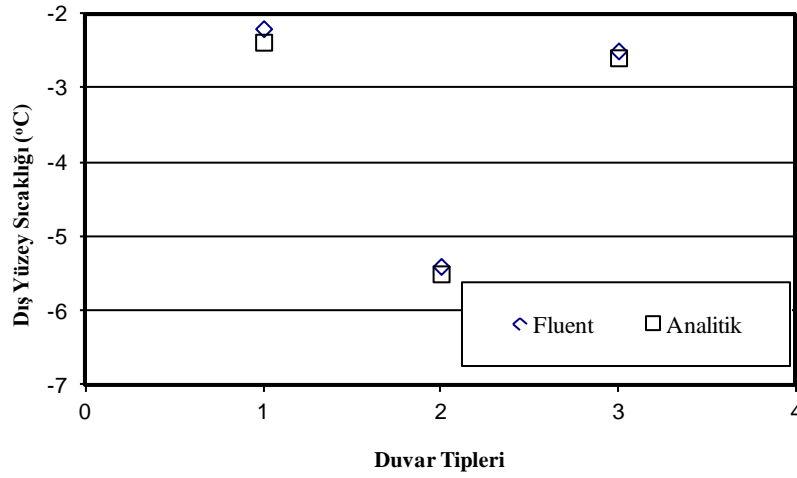
Şekil 5'te solda (5 cm) sağda ise (3 cm) içten yalıtım uygulamasına ait sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Sol tarafta 17 °C olan duvar sıcaklığı sağ tarafta 16.1 °C değerine düşerken, kiriş bölgesinde daha da azalmış ve özellikle birleşme yerlerinde 11.8 °C değerine kadar düşmüştür. Duvarın dıştan görüntüsünde de aynı durum söz konusu olup, saçaklardaki ısı köprüsü sonucu oluşan ısı kaybı görülmektedir.

4.2. Sayısal Sonuçlar

Yapılan çalışmanın sayısal analizleri; sonlu hacimler esasına dayalı çözümlene yapan sayısal program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binanın üç boyutlu modeli çizildikten sonra ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu aşamada ilk olarak, iki milyon sayıda ağ yapısından başlanarak on iki milyon sayısına kadar ağ yapısı oluşturulmuştur. Yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlarda önemsenmeyecek kadar küçük farklar olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; yaklaşık 6,5 milyon civarında ortalama ve uygun bir ağ yapısı sayısı oluşturulmuştur. Ağ yapısında hacim mesh elemanı olarak tetrahedral eleman tipi kullanılmıştır.

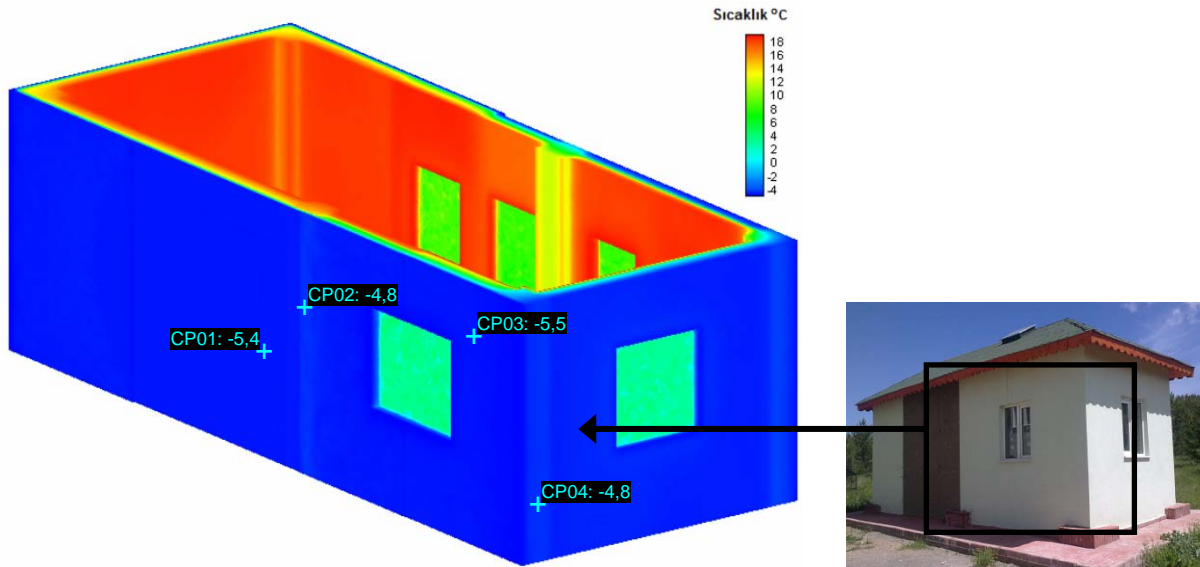
Üç farklı düzlem duvarın dış yüzeyleri için elde edilen üç boyutlu analitik sonuçlarla (yalıtımsız, dıştan yalıtımlı, sandviç yalıtımlı), kullanılan sayısal programdan elde edilen iki boyutlu ısı iletim denkleminin çözümlenmesi ile bulunan sayısal sonuçlar, kıyaslamak için karşılaştırılmıştır. Sıcaklık değerleri sayısal programda ve analitik hesaplamalarda sırasıyla -2,2 °C ve -2,4 °C; 2 no'lu duvar tipinde -5,4 °C ve -5,5 °C; 3 no'lu duvar tipinde ise -2,5 °C ve -2,6 °C olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere sayısal ve

analitik sonuçlar birbirine çok yakındır. Böylece kullanılan sayısal yöntemin doğruluğu konusunda yeterli hassasiyete sahip olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 6. Üç Farklı Düzlem Duvar İçin Analitik ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

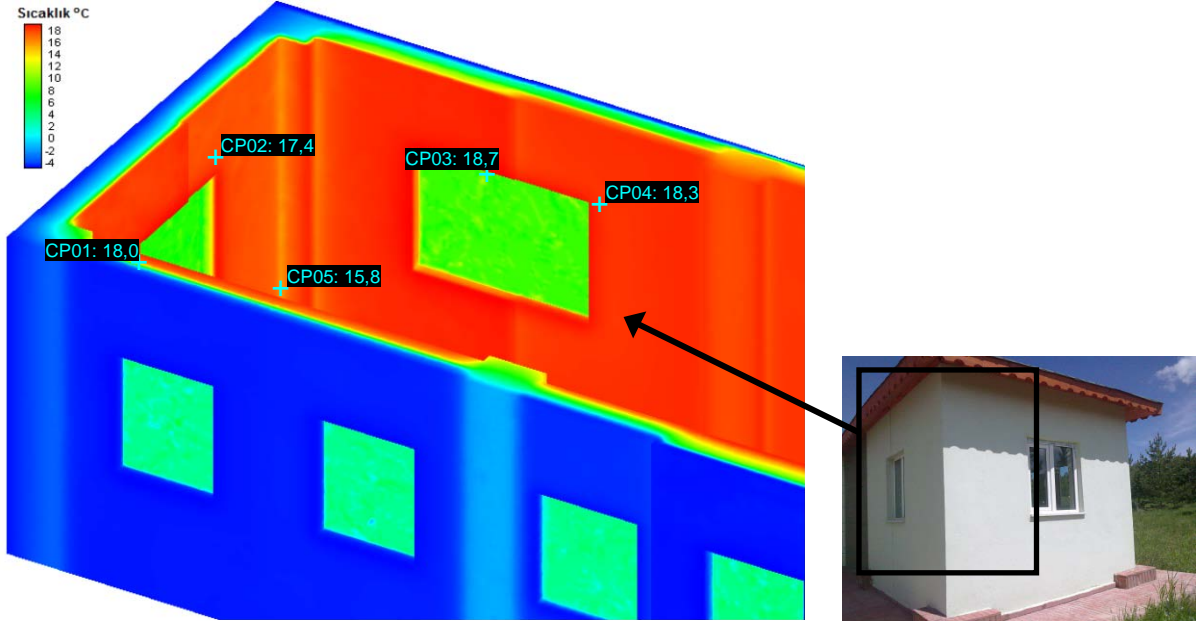
Şekil 7'de termal kamera sonuçlarına benzer bir dağılım olduğu görülmektedir. Sol kısımdaki dıştan yalıtım bölgesinden, sağ taraftaki sandviç duvara geçiş rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca kolon üzerindeki ısı kayıpları ve farklı yalıtım bölgelerine geçişler de belirgindir. Ancak termal görüntünün aksine sayısal modelde, duvarın ortasında olan yalıtım malzemelerinin birleşme yerlerinde meydana gelen ısı köprüsü kaynaklı ani sıcaklık değişimleri görülmemektedir.



Şekil 7. Binanın 3-Boyutlu Modelinin İç ve Dış Duvar Sıcaklık Dağılımları ($T_{iç}=20\text{ °C}$, $T_{dış}=-6\text{ °C}$)

Şekil 8'de batı cephedeki içten yalıtımlı duvar ve kuzey cephedeki sandviç duvarların 3 boyutlu modellerine ait iç yüzey sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Şekle göre sol tarafta içten sırasıyla yarısı 5 cm ve diğer yarısı 3 cm olarak yalıtılmış duvar bulunmaktadır. 5 cm olan kısımda sıcaklığın daha fazla olduğu renginin daha koyu kırmızı olmasından anlaşılmaktadır. Duvarın birleşme noktasında bulunan kolonun üzerinde ısı kayıpları göze çarpmaktadır. Şeklin sağ tarafında 6 cm ile yalıtılmış duvar bulunmaktadır. Duvarın sol tarafı; 2 cm içten, 2 cm ortadan ve 2 cm dıştan olmak üzere, sağ tarafı ise; 3 cm ortadan ve 3 cm dıştan olmak üzere sandviç duvar olarak yalıtılmışlardır. Bu duvarın dıştan görüntüsünde belirgin bir sıcaklık farkı olmasa da içten görüntüsünde, özellikle birleşme yerlerinde

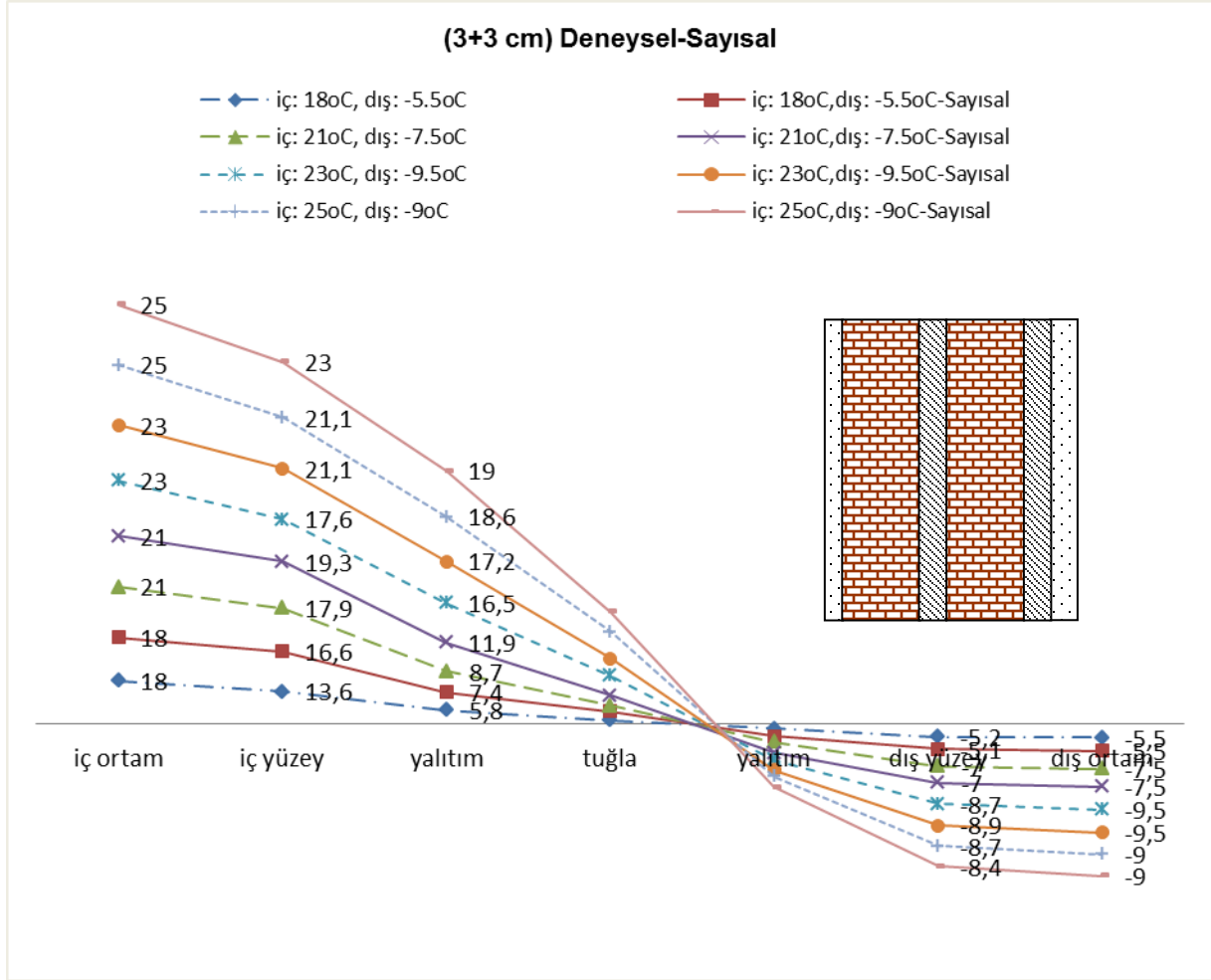
belirgin farklar olduğu görülmektedir. Sol kısımda 2 cm içten yalıtım olması iç yüzey sıcaklığında artış sağlamıştır. Yalıtımı duvarın farklı konumlarına yerleştirmek; sıcaklık salınımlarını azaltmakta, ısıtılmaları önlemekte ve enerji tüketimini azaltmakta olumlu etkiler sağlamaktadır.



Şekil 8. Binanın 3-Boyutlu Modelinin İç ve Dış Duvar Sıcaklık Dağılımları ($T_{iç}=20\text{ °C}$, $T_{dış}=-6\text{ °C}$)

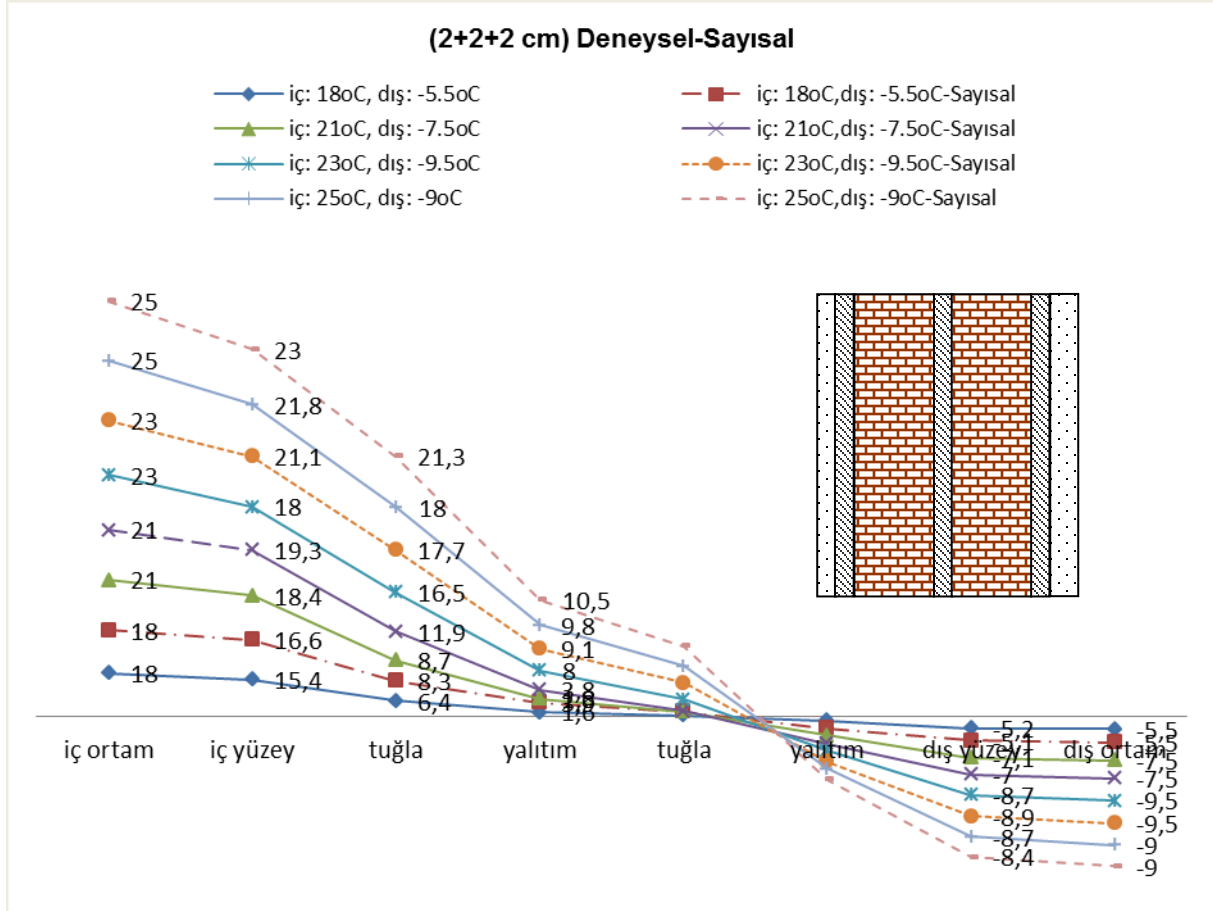
Şekillerde gösterilen duvarlar için farklı günlerde, farklı iç ve dış ortam sıcaklıklarında termal kamera çekimleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar her bir duvar modeli için ayrı ayrı grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 9'de farklı iç ve dış ortam sıcaklıklarında elde edilen deneysel verilerle, üç boyutlu sayısal modellere ait sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. İç ortam sıcaklığının 21 °C , dış ortam sıcaklığının -7.5 °C olduğu durumda deneysel iç yüzey sıcaklığı 17.9 °C iken, sayısal iç yüzey sıcaklık değeri 19.3 °C 'dir. Sayısal değerlerdeki farklılık diğer durumlar için de benzer davranışlar göstermiştir. Sayısal hesaplarda kullanılan programda birçok durumun ideal kabul edilmesi sonucunda sayısal sonuçlarla deneysel veriler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Değerler arasında belirli bir sıcaklık farkı korunmuş ve aynı rejimde davranış sergilenmiştir. Şekilde 4 farklı iç ve dış ortam sıcaklığı için de bahsedilen davranış açıkça görülmektedir.



Şekil 9. (3+3 cm) Yalıtım Kalınlığına Sahip Duvarın Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Değerlerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması

Şekil 10'da (6 cm) yalıtım kalınlığının (2+2+2 cm) olarak uygulandığı duvarın, farklı iç ve dış ortam sıcaklıklarında elde edilmiş deneysel ve sayısal sonuçlarına ait değerler gösterilmiştir. İç ortam 23 °C ve dış ortam -9.5 °C sıcaklıklarda iken; deneysel veride iç yüzey sıcaklığı 18 °C, sayısal veride 21.1 °C; sırasıyla katman sıcaklıkları, deneyselde 16,5 °C, 8 °C, 4,8 °C, -3 ölçülmüş ve sayısalda 17.7 °C, 9.1 °C, 6.9 °C, -4.5 °C elde edilmiştir. Dii yüzey sıcaklıkları ise deneyselde -8.7 °C, sayısalda -8.9 °C olduğu görülmektedir. Sayısal değerlerin deneysel değerlerden daima yüksek olduğu da açıkça ortadadır.



Şekil 10. (2+2+2 cm) Yalıtım Kalınlığına Sahip Duvarın Farklı Ortam Sıcaklıklarındaki Değerlerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması

SONUÇLAR

Yapılan çalışmanın deneysel kısmı, kızılötesi (IR) enerjiyi esas alan termal görüntüleme yöntemi ile termal kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her duvarında farklı bir duvar modeli bulunan binanın iç ve dış duvarlarının kış aylarında termal kamera ile çekimleri yapılmıştır. Farklı iç ve dış ortam şartlarında gerçekleştirilen çekimlerin aynı şartlar için, sonlu hacimler esasına dayanan Fluent programı kullanılarak 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Programda çözüm kolaylığı açısından, iç ve dış ortam için ısı taşınım katsayısı değerleri sabit kabul edilmiştir. Benzer şekilde kullanılan yapı ve yalıtım malzemelerinin yoğunluk, ısı depolama ve ısı iletim katsayısı değerleri de sabit kabul edilmiştir. Binanın deneysel verilerinin analizleri yapılarak elde edilen sonuçları, 3 boyutlu modelinin analizlerinden elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Sandviç duvar uygulamalarında kolon ve kiriş bileşenlerinin yalıtımsız olması ısı köprüsü oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum TS 825 'de gösterilen yalıtım detaylarına göre uygulama yapılarak önlenabilir. Doğru yalıtım kalınlığı seçilmek koşuluyla; sandviç duvarlarda yalıtım malzemesini tek parça olarak kullanmaktansa, duvarın farklı kısımlarında bölerek kullanmak daha iyi sonuçlar vermektedir. Binada kullanılan 6 cm yalıtım malzemesinin 3+3 cm ve 2+2+2 cm şeklinde uygulanmasından elde edilen sonuçlarda bu durum gösterilmiştir. Aynı yalıtım kalınlığının duvarın farklı konumlarına uygulanmasının; iç ortam sıcaklık salınımlarını azalttığı, ısı gerilmeleri önlediği ve enerji tüketimine olumlu etkisinin olduğu deneysel olarak belirlenmiştir.

Sandviç duvar uygulamalarında; özellikle aynı duvar üzerinde farklı malzeme ve malzeme kalınlıkları kullanılması nedeniyle oluşan ısı köprüleri deneysel hatalara neden olmuştur. Kuzey cephede 6 cm kalınlığındaki yalıtımın 2+2+2 cm ve 3+3 cm şeklinde uygulanması sonucu birleşme yerlerinde ısı köprüleri oluşumu gözlenmiştir.

İçten yalıtım uygulaması da sandviç duvar uygulamasına paralel olarak kolon ve kirişlerde ısı köprüsü oluşumuna sebep olmaktadır. İçten ve sandviç duvar yalıtım uygulamalarının; yalıtım kalınlığı ne kadar artırılsa da ısı köprüsü oluşumunu engellemediği görülmüştür. Bu durum 3 ve 5 cm kalınlığında içten yalıtım uygulaması yapılan duvarda gösterilmiştir. İçten yalıtım uygulamalarında; kolon ve kirişler ayrıca ve doğru şekilde yalıtılmalı, duvar ve ısı köprüleri için TS 825 'e uygun detaylar ve yalıtım kalınlığı seçilmelidir. İçten ve sandviç duvar uygulaması sonucu ortaya çıkan ısı köprüleri; küf, mantar, terleme, yoğuşma ve bunlara bağlı olarak boya ve sıva dökülmelerine, beton ve donatıda korozyona sebep olacaktır. Tüm bunlar ise; insan ve yapı sağlığını etkileyecek çok önemli sorunlara yol açacaktır.

Deneysel çalışmalar sırasında dış ortam sıcaklığının sabit tutulamaması; bulunulan bölgedeki rüzgarın taşınımıyla olan ısı transferine etkisi, zeminde bulunan karın ışınım transferine etkisi ve yansımalar sonucu bazı yüzeylerde meydana gelen parlaklığa bağlı hatalar neticesinde çekimlerden elde edilen görüntü analizlerinde gerçeğinden farklı durumlar ortaya çıkmıştır. Ancak bu tür durumlar her deneysel çalışmada bulunmakta olup, bu çalışmanın da sonuçlarında küçük yüzdesel hatalar dışında ciddi problemler oluşturmamıştır.

Sayısal çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar da deneysel çalışmaları destekler niteliktedir. İçten ve sandviç yalıtım uygulamalarından elde edilen deneysel sonuçların paralelinde sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların olmazsa olmazı deneysel hatalar bu sayede en aza indirgenmiş ve elde edilen sonuçların doğrulundan emin olunmuştur. Deneysel çalışmada; güneş enerjisi, kar kaynaklı ışınım, rüzgâr ve yön etkisi, taban ve tavan kayıpları sayısal çalışmada bulunmamaktadır. Bu durum sonuçlarda; farklı sıcaklık değerleri elde edilmesine sebep olmuştur. Kolon ve kirişlerdeki ısı köprüleri sayısal çalışmada da belirgin olarak ortaya çıkan ısı kayıpları nedenlerinden olmuştur.

SEMBOLLER

h	: ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
k	: ısı iletkenlik katsayısı ($W/m K$)
ρ	: yoğunluk (kg/m^3)
c_p	: özgül ısı ($J/kg K$)
T	: sıcaklık (K)

İndisler

iç	: iç ortam
dış	: dış ortam

KAYNAKLAR

- [1] AYTAC, A., AKSOY, U.T., "Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 4, 753–758, 2006.
- [2] IZODER, "Isı Yalıtımı Genel Bilgiler", www.izoder.org.tr, 2011.
- [3] RUBACI, E., (2006). "Konutlarda Enerji Tasarrufu", İzolasyon Dünyası, 58, 54–55, 2006.

- [4] OZEL, M., PIHTILI, K., "Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması", DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 7, 1, 87–97, 2005.
- [5] OZEL, M., PIHTILI, K., "Duvar Yönünün Yalıtım Kalınlığına Etkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 1, 95–101, 2007.
- [6] OZEL, M., DURANAY, M., "Farklı Yönlere Bakan Bina Duvarlarında Duvar Kalınlığı ile Yalıtım Kalınlığı Arasındaki İlişkinin Isıl Yük Seviyesi Açısından İncelenmesi", Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 181–189, 2005.
- [7] GOLCU, M., DOMBAYCI, O. A., ABALI, S., "Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi Ve Sonuçları", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 4, 639–644, 2006.
- [8] KARABULUT, K., "Yapı Elemanlarındaki Isı Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi", Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 145, 2010.
- [9] KARABULUT, K., ve BUYRUK, E., "Farklı Geometrilere Oluşan Isı Köprülerinde Isı Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi", X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir, 953-969, 13-16 Nisan 2011.
- [10] ERDABAK, M., "Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksikliklerin Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması", Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 163, 2011.
- [11] BUYRUK, E., FERTELLİ, A., CAN, A., KARABULUT, K., KILINÇ, F., ERDABAK, M., "Thermographic Survey Of Different Buildings In Sivas - Turkey", 21st International Symposium On Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb, 2011.
- [12] 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.
- [13] BUYRUK, E., KARABULUT, K., AND CAN, A., "Numerical Research of Heat Transfer for Thermal Bridges Formed By Different Geometries With Beams", 21st International Symposium On Heating, Refrigerating and Air Conditioning Conference, Zagreb, 8-28, 2011.
- [14] TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Resmi Gazete, 23725, 12, 1999.
- [15] KARAKOC, H., "Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı", 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat KILINÇ

1982 yılı Zara doğumludur. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünde 2011 yılında Yüksek Lisansını tamamlamış ve Doktora eğitimine başlamıştır. Halen Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında Doktora eğitimine devam etmektedir.

Ertan BUYRUK

1970 Sivas doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamlamıştır. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını almıştır.

Prof. Buyruk, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. Prof. Buyruk 2012 yılında Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği İle İlgili Rektör Danışmanı olarak atanmıştır.

Ahmet FERTELLİ

1975 yılı Sivas doğumludur. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2001 yılında Cumhuriyet Üniversitesinde yüksek lisansını tamamlamış ve Çukurova Üniversitesinden Doktor ünvanını almıştır. 1999-2009 Yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2009 yılından beri CÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Termodinamik, Isıtma, Soğutma ve Havalandırma, Soğu Depolama konularında çalışmaktadır.

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.