



SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

MULTİDİSİPLİNER BAKIŞ AÇISIYLA
TÜRKİYE'DE
ENERJİ

Editörler

Prof. Dr. Hilmi ATASEVEN

Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL

SIVAS2022

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI NO: 243

12/05/2022 Tarih ve 7 Toplantı Sayılı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yayın Kurulu Kararı ile 18/05/2022 Tarih ve 15 Toplantı Sayılı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yönetim Kurulu Kararına istinaden basımı uygun görülmüştür.

İNCELEME KOMİSYONU:

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN

Prof. Dr. Turhan KURŞUN

Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, SİVAS

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, SİVAS

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, KONYA



SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

MULTİDİSİPLİNER BAKIŞ AÇISIYLA "TÜRKİYE'DE ENERJİ"

ISBN

978-605-7902-64-1

Editörler

Prof. Dr. Hilmi Ataseven

Dr. Öğrt. Üyesi Derya Betül Ünsal

Kapak ve İç Düzen

Abdulkadir Kocatürk

Baskı

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Rektörlük Matbaası

Sertifika No: 40954

Sivas 2022

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI: BOR, JEOTERMAL, NÜKLEER ENERJİ ve VERİMLİLİK GELİŞMELERİ

Bor Bileşiklerinde Hesaplamalı Kimya Metodlarıyla Enerji Verimliliği Sultan Erkan, Ceylan Alkaya	13
Nükleer Yakıt Çevrimleri Meryem Seferinođlu	25
Yeni Nesil Reaktörler Ali Tiftikçi	35
Füzyon Reaktörleri Hüseyin Şahiner	47
Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli: Sivas İli İncelemesi Sinan Sarp	57
Jeoenerjinin Sağlıkta Kullanımı: Balneoterapi Musa Polat	63
Sivas'ın Termal Sağlık Turizmi Potansiyeli Nurperihan Tosun	75

BÖLÜM 2 YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SAĞLIK İLİŞKİSİ

Enerji Kaynaklarının Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Akciğer Sağlığı Üzerine Etkileri Serdar Berk	83
Hastanelerde Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Uygulamaları Hilmi Ataseven	91
Enerji Kaynaklarının Sebep Olduğu İklim Değişikliğinin Sağlığa Genel Etkileri Şeyma Taştemur	101
Enerji Kaynakları Tüketimiyle Artan Hava Kirliliğinin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri Şeyma Kıbrıslıoğlu Baykan	115

BÖLÜM 3 ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU, PİYASA VE MEVZUATLAR

NARX ANN ile Sivas Organize Sanayi Bölgesi Elektrik Talep Tahmini Yunis Torun, Uğur Atıcı, Seyit Keklikçi	125
Enerji Verimliliğine Yönelik Teşvik Uygulamaları Sinan Dündar	137

Yapay Zeka Yaklaşımlarının Verimlilik Amaçlı Kullanım Yöntemleri	
Serkan Akkoyun	143

Verimlilik Amaçlı Yeni Bir Sıvı Seviyesi Ölçüm Tekniği	
Hüseyin Canbolat	149

BÖLÜM 4

ENERJİ VERİMLİ BİNALARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKNOLOJİLER

Isı Yalıtım Uygulamalarının Enerji Tasarrufuna Etkilerinin İncelenmesi	
Ferhat Kılınç	157

Yapı Elemanlarındaki Isı Kayıplarının Enerji Tasarrufu Açısından Değerlendirilmesi	
Koray Karabulut, Ertan Buyruk	163

Farklı Bina Kurulumları Etrafındaki Akış Yapıları	
Deniz Gölbaşı, Ertan Buyruk, Koray Karabulut	171

Güvenli Yeşil Binalar	
Yusuf Gökşen	177

BÖLÜM 5

ENERJİDE KARBON AYAK İZİ AZALTILMASI

Anaerobik Membran Reaktörler: Kullanım Alanları ve Enerji Eldesinin Değerlendirilmesi	
Meltem Sarıoğlu Cebeci, Berk Köker	187

Biyometanizasyonda Son Gelişmeler	
Öznur Begüm Gökçek, Hamdi Muratçobanoğlu, Fatma Muratçobanoğlu, Ruhullah Ali Mert, Bilal Yıldırım, Sevgi Demirel	203

Arıtma Çamurları ve Evsel Atıkların Anaerobik Stabilizasyonundan Enerji Eldesi	
Turgay Bişgin, Meltem Sarıoğlu Cebeci	213

BÖLÜM 6

YENİ NESİL, AKILLI, ELEKTRİKLİ SİSTEMLER

Akıllı Şebeke Haberleşme Teknolojileri ve Enerji Verimliliğine Katkıları	
Zeynep Hasırcı Tuğcu	225

Akıllı Bina Sistemlerinde IOT Uygulamaları ile Enerji Yönetimi	
Derya Betül Ünsal, Zeynep Ceran Çamayaz	233

Akıllı Şebekelerde Kullanılan Bina Sistemleri ve Erişilebilirlik Yönüyle AFAD Sivas Ofisi Uygulaması	
Derya Betül Ünsal, İsmail Güneş	251

Prof. Dr. Hilmi ATASEVEN

1968'de Sivas'ta doğdu. 1985'de Sivas Kongre Lisesi'nden, 1991'de ise Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden mezun oldu. 1997 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak girdi. 2002 yılında İç Hastalıkları uzmanı oldu. 2003 yılında Türkiye Yüksek İhtisas Hastanesi Gastroenteroloji Kliniğinde Gastroenteroloji yan dal ihtisasına başladı ve 2007 yılında Gastroenteroloji uzmanı oldu. Erzurum'da mecburi hizmetini tamamladıktan sonra 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı Gastroenteroloji Bilim Dalında öğretim üyesi olarak göreve başladı. 2011'de İç Hastalıkları (Gastroenteroloji) doçenti oldu. 2012'de Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Uygulama ve Araştırma Hastanesinde başhekim yardımcılığı; daha sonra da Tıp Fakültesi dekan yardımcılığı; 2014 yılında Sivas Numune Hastanesi Yöneticiliği/Başhekimliği; 2015 yılında Malatya Kamu Hastaneleri Genel Sekreterliği; 2016 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı görevlerinde bulundu. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapan Dr. Hilmi Ataseven Cumhuriyet Üniversitesi Rektör Yardımcısı görevini yürütmektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL

2011 yılında tamamladığı Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Lisans Programı'ndan onur, 2014 yılında tamamladığı İngilizce Tezli Yüksek Lisans Programı'ndan yüksek onur, 2018 yılında tamamladığı Elektrik ve Elektronik Mühendisliği İngilizce Doktora programından ise bölüm birincisi dereceleriyle mezun olmuştur. "Akıllı Elektrik Şebekeleri Haberleşme Teknolojileri" konusunda tamamladığı yüksek lisans boyunca Tübitak Öncelikli Alan Çalışmaları desteği almıştır. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi ve Abdullah Gül Üniversitesi ile ortak çalışmalar içerisinde yürütülen, Tübitak Öncelikli Alan Çalışmaları Desteği aldığı doktora çalışmalarını ise "Akıllı Elektrik Şebekelerine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dağıtık Üretim ile Entegrasyonu'nun Haberleşme Teknolojileri ile Kontrolü" üzerine tamamlamıştır. Mühendislik bakış açısına disiplinlerarası katkılar sağlayabilmek amacıyla aldığı İşletme Lisans Eğitimini de 2013 yılında tamamlamıştır. 2015 yılında C.Ü Robot Programlama Eğitmeni ve 2020 yılında Bilkent Üniversitesi Yapay Öğrenme Eğitimlerini de tamamlayan Dr. Ünsal, interdisipliner bakış açısını geliştirebilmek amacıyla halen Felsefe Yüksek Lisans Eğitimine de devam etmektedir. 2011 yılından itibaren Enerji Bilimi ve Teknolojisi ABD'de Doktor Öğretim Üyesi olarak devam etmektedir. 30'u aşkın bilimsel çalışması bulunup, 2021 yılı Ocak ayından itibaren Yenilenebilir Enerji Araştırma Merkez Müdürlüğü görevini yürütmektedir. Çeşitli uluslararası indexli dergilerde hakemlik ve yayın kurulu üyeliği görevleri bulunmakta, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Savunma Teknolojileri ve Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği bölümlerindeki Yüksek Lisans ve Doktora öğrencilerine danışmanlık yapmaktadır. Uzmanlık ve ilgi alanları, Akıllı Şebekeler, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Elektrik Şebeke Güvenliği, Güç şebekelerini saldırılardan koruma yöntemleri, Güç Hatları İleşimi Haberleşmesi ve Mikro Şebekeler'dir. 2007 yılından beri IEEE-Women in Engineering, IEEE Communication ve Power System Society üyesidir.

ÖN SÖZ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi olarak, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı dahilinde, göreve geldiğim ilk günden itibaren kendi enerjisini kendi üreten bir üniversite olabilmek hedefiyle çalışmalar gerçekleştirerek çalışmaktayız. Ülkemizde, enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan fosil yakıtlara erişim, kullanım noktasında karşılaşılan sıkıntılar ve olumsuzluklar, ülkelerin enerji politikalarına yansımakta ve ülkeleri alternatif enerji kaynakları kullanmaya yönlendirmektedir.

Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biyokütleden elde edilen enerjinin, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Nükleer enerji de bu kapsamda yenilenebilir enerji kategorisi içerisinde yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, asla tükenmeyecek olmasıyla, çevreye zararının olmamasıyla ve maliyetinin fosil yakıtlara oranla çok çok daha az olmasıyla önem kazanmaya başlamıştır. Enerji ihtiyacını karşılama konusunda sadece kaynakların var olması değil, ayrıca kaynakların güvenilir, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli olması da çok önemlidir.

Dünya üzerinde birçok ülke enerji sektörüne gün geçtikçe daha büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. İçinde bulunduğumuz salgın sürecinin olumsuz etkilerine rağmen Enerji sektörü, ülkemizde de böyle bir dönemden büyüyerek çıkmıştır.

Uluslararası Enerji Ajansı 2020 Mayıs Ayı Enerji Piyasası raporunda enerji sektöründeki artış oranını %7 olarak öngörüyordu ancak yıl sonu raporlarında bu oran revize edilerek %18 olarak düzenlenmiştir. Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan 2021 yılı elektrik kurulu gücümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının yüzde 52,3'e ulaştığını ve bu oranla Avrupa'da 6, dünyada 13'üncü sırada yer aldığımızı açıklamış ve ülkemiz bu sayede yenilenebilir enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmak üzere olduğunu belirtmiştir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerjide bu şekilde hızlı adımlarla büyümesi, Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri için de hayati önem arz etmektedir.

"Sayın Cumhurbaşkanımız, 2023 yılında 66,6 milyon ton karbondioksit emisyon azaltımı hedefini ortaya koymuş, ve benzer ekonomik seviyedeki ülkelerle eşit şartlarda olmak kaydıyla küresel iklim eylemine katkı sunmaya devam edeceğimizi açıklamıştır.

Bu gelişmeler, yenilenebilir enerji sektöründe motivasyonu daha da artırmıştır. "Biz de Sivas Cumhuriyet Üniversitesi olarak, ülkemizin daha yeşil bir ekonomi hedefine ulaşabilmesi noktasında çalışmalarımızı sürdürüyoruz"

Covid-19 Salgınına rağmen elde edilen başarının gelecek yıllarda da artarak devam edeceği beklentisi içerisindeyiz. İnşallah ülkemiz ve üniversitemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında çok daha büyük adımlarla, daha hızlı bir şekilde ilerlemeye devam edecektir.

Prof. Dr. Alim Yıldız
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Rektör

YAPI ELEMANLARINDAKİ ISI KAYIPLARININ ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Koray Karabulut^a, Ertan Buyruk^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, duvar-ara kat döşemesinden oluşan içten ve sandviç yalıtımlı farklı ısı köprüsü modellerinin ısı performansları incelenmiştir. Hesaplamalar, Fluent bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı elemanlar, Enerji Tasarrufu, Isı Kayıpları

ABSTRACT

In this study, the thermal performances of different thermal bridge models with inner and sandwich insulation consisting of wall-mezzanine flooring were investigated. Calculations were performed using the Fluent computer program.

Keywords: Building elements, Energy Saving, Heat Losses

GİRİŞ

Binaların enerji tüketiminin azaltılması, atmosfere salınan sera gazı emisyonlarında bir azalmaya yol açarak, gezegenimizin küresel ikliminin ısınma hızını azaltıcı etki sağlamaktadır. Özellikle binaların enerji verimliliğini artırma görevi, daha düşük enerji tüketimi ile gerekli iç mikro iklimi sağlamayı gerektirmektedir [1].

Binalar, duvarlar, pencereler, tavanlar ve döşemelerden ısı kaybetmekte ve bu yüzden binaların yakıt tüketimi artmaktadır [2].

Ülkemizin enerjiye olan talebi, sanayileşme ve üretim sürecinde günden güne biraz daha artarken, enerji arzı bu talep artışını karşılayacak oranda artmamaktadır. Enerji tüketimi bakımından değerlendirildiğinde konut sektörü yüzde 33' lük gibi önemli bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Yapılardaki ısı kayıplarının; %10'u döşemelerden, %10-15'i pencerelerden, %25'i tavanlardan, %15-25'i duvarlardan ve %20-50'si ısı köprülerinden oluşmaktadır [2]. Isı köprüleri, duvar-ara kat döşemeleri (çatı, taban ve tavan), pencere veya kapı arası açıklıklar ve köşe noktaları gibi farklı yapı detaylarından oluşan ve binanın ısı direncinin önemli ölçüde değişerek iki veya üç boyutlu ısı transferinin olduğu sınırlı kısımlardır [3]. Bu kısımlar, bina yapı elemanında kış mevsimi döneminde ısı kayıplarını ve yaz mevsimi döneminde ısı kazançlarını artırmasıyla binanın ısı direncini yüksek oranda azaltmaktadır. Deneysel çalışmalardan ulaşılan verilere göre; bir binadan olan ısı transferinin bir boyutlu olduğu varsayımı geliştirilmiş

toplam ısı transfer katsayısının %10-40 oranında daha az tahmin edilmesine neden olmaktadır [4]. Önceki çalışmalardan birinde, tek boyutlu hesaplamalar yaparak bulunan sonuçlarla ölçülen sonuçlar arasındaki fark ve yalıtım tabakasının boyut ve yerleşim konumunun iç yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [5]. Larbi ise ısı köprülerinin iki boyutlu ısı iletiminin istatistiksel modellerini incelenmiştir [6]. Citterio ve ark. ısı köprülerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin özellikle dıştan yalıtım uygulanmadığında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir [7]. Yunanistan’da bulunan bir konut için ısı köprülerinin binanın genel yıllık ısıtma yükü üzerindeki etkisi Kotti ve ark. tarafından %13 olarak belirlenmiştir ve Yunanistan’da yaygın olarak kullanılan çift tuğla duvar uygulaması durumunda %30’ a kadar çıkabildiğini Theodosiou ve ark. hesaplamışlardır [8], [9]. Bergero ve ark. bir İtalyan beş katlı konut binasının durumunu incelemiş ve binada %12’ ye varan ısı köprü katkısını saptamışlardır [10]. Gao ve ark. süreksiz sistemlerin davranışını belirlemede kullanılan grafik tabanlı bir yazılımda basitleştirilmiş bir model aracılığıyla (TRNSYS) bir Fransız binasındaki ısı köprülerine bağlı olarak toplam ısı kaybının %14 olduğunu hesaplamışlardır [11].

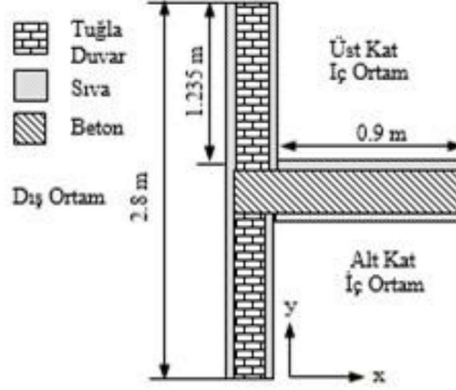
Farklı iklim bölgelerinde ısı kayıplarını azaltmak için duvar-donatılı beton birleşimleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [12], [13]. Bununla birlikte, termal kamera görüntüleme yöntemi ile ısı köprüsünün görselleştirilerek belirlenebilmesi için modellemeler öneren çalışmalar mevcuttur [14-16]. Ge ve ark. giriş uzantılı ısı köprüsünün yalıtım performansını değerlendirmek için bir yöntem önermişlerdir [17]. Elde edilen literatür çalışmasından ulaşılan sonuçlara göre birçok çalışmada duvar-kiriş birleşimi neticesinde oluşan ısı köprüleri ihmal edilmekte veya gerektiği kadar önemsenmemektedir. Bu çalışmada, duvar-ara kat döşemesinden oluşan ısı köprülerinin içten, iki duvar arası (sandviç) yalıtımlı duvar uygulaması durumunda binanın ısı performansındaki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, dış yüzey boyunca sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, sıcaklık konturu ve ısı akısı vektörü dağılımları görselleştirilmiştir. Sayısal hesaplamada, sonlu hacimler yöntemi olan Fluent bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Sayısal Yöntem

Analizlerde incelenen duvar-ara kat döşemesinden oluşan ısı köprüleri için kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığı 5 cm’ dir. Şekil 1’ de duvar-ara kat döşemeli ısı köprüsünün yalıtımsız haldeki modeli gösterilmektedir. Ayrıca, çalışmada araştırması yapılan ısı köprüsü modelleri günümüzde yapılarda rastlanılan uygulamalar olup, modellemede kullanılan malzemelerin boyutsal ve ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yapı bileşenlerinin boyutsal ve ısı özellikleri [18].

Yapı bileşeni	Isı iletim 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



Şekil 1. Yalıtımsız duvar-ara kat döşemeli ısı köprüsü modeli

Bu çalışma aşağıda belirtilen şu kabuller göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir: (i) ısı üretiminin olmadığı (ii) ısı özelliklerin sabit olduğu (iii) temas direncinin olmadığı (iv) ısı taşınım katsayısının sabit olduğu.

Bütün hesaplamalarda, sırasıyla dış ortamın sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı 253 K, 25 W/m²K ve iç ortamın sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı ise 293 K ve 8 W/m²K' dir [19].

Hesaplamalarda ısı köprüsü modelleri için toplamda 8000-9000 adet dikdörtgenel şekilde ağ yapısı kullanılmakla birlikte, duvar-ara kat döşemesi ısı köprüsü modelleri yalıtım tipleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Isı köprüsü modelleri yalıtım tipleri

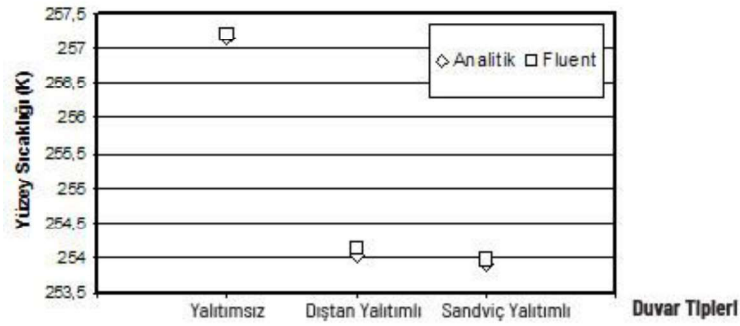
Modeller	Yalıtım tipi
i1	İçten ısı yalıtımı
i2	İçten ve üst kat taban ısı yalıtımı
i3	İçten ve giriş önü ısı yalıtımı
S1	Sandviç (çift duvar arası) ısı yalıtımı
S2	Sandviç ve üst kat taban ısı yalıtımı
S3	Sandviç ve giriş önü ısı yalıtımı

SONUÇ

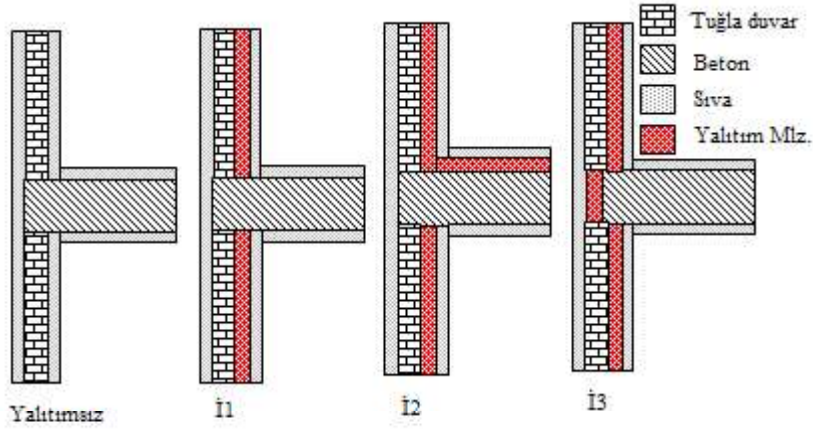
Yalıtımsız, dıştan ve sandviç yalıtımlı duvarların dış yüzey sıcaklık değerleri için bir boyutlu analitik hesap sonuçlarıyla, iki boyutlu ısı iletim denkleminin Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözümlenmesi ile ulaşılan sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Şekil 2'den de görülebildiği gibi analitik ve sayısal (Fluent) sonuçların birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüleri için modeller Şekil 3' de gösterilmektedir Şekil 4' de ise bu ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılım konturları ile ısı akısının vektörleri sergilenmektedir. Duvara yalıtım içten yapıldığında iç yüzeyin sıcaklıkları

artarken, dış ortama olan ısı akısı vektörleri azalmaktadır. Isı köprüsü etkisinin fazla olduğu giriş (ara kat döşeme) bölgesinde, bu bölgelerin yalıtılmadığı İ1 ve İ2 modelleri için ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu ve şiddeti fazladır. Bununla birlikte, giriş önüne yalıtımın yapılması (İ3 modeli) ısı akısı vektörlerinin yoğunluk ve şiddetinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu durum da, ısı köprüsü etkisinin azaldığını belirtmektedir. Ayrıca, İ3 modelinde ara kat döşemesi-duvar, yalıtım arasındaki bölgeden olan ısı kayıpları sebebiyle ısı akısı vektörlerinin yoğunluklarında artış olmaktadır.



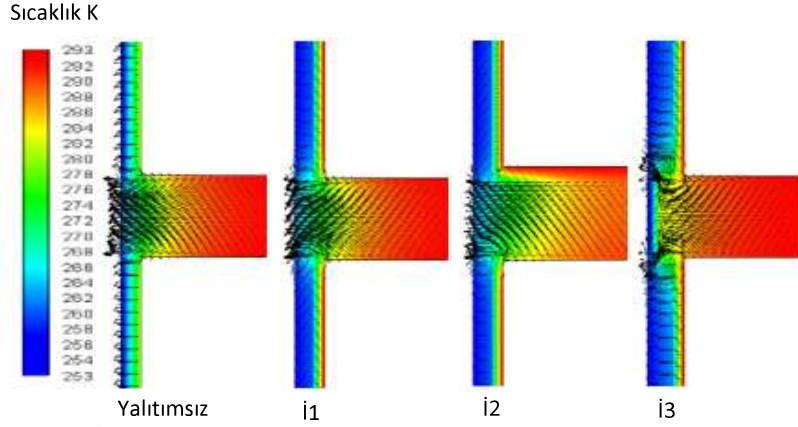
Şekil 2. Analitik ve sayısal sonuçların karşılaştırılması



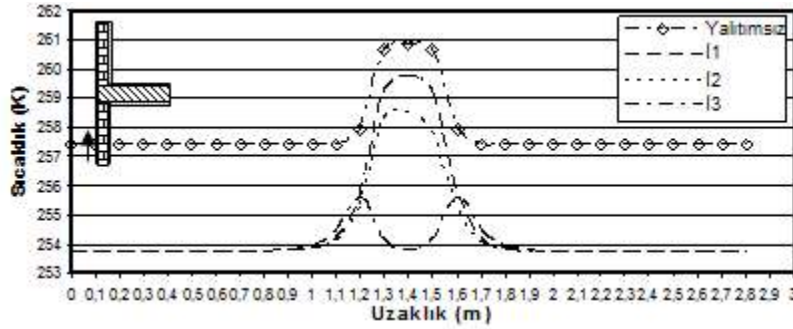
Şekil 3. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri

İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri Şekil 5' de gösterilmektedir. Modellerde yalıtımsız duvar kısımlarındaki sıcaklıklar 257.41 K iken yalıtımlı modellerde bu değer 253.72 K olmaktadır. Bununla birlikte, yalıtım giriş önü sıcaklığının da düşmesini sağlayarak ısı köprüsünün olumsuz etkisini azaltıcı bir duruma sebep olmaktadır. Yalıtımsız durum için ara kat döşemesinin orta noktasının yüzey sıcaklığı, 260.86 K iken yalnızca içten yalıtımlı modelde 259.71 K'e, içten ve üst kat taban yalıtımlı modelde 258.49 K ve içten ve yalnız ara kat döşeme yalıtımlı modelde ise 253.75 K de-

ğerine inmektedir. Buna ilaveten, İ3 modeli için giriş önünde yalıtımda bir bütünlük olmadığı için giriş önünde sıcaklık değerlerinde sıçramalar görülmektedir. Bu nedenle, bu bölgelerde sıcaklık değeri, 255.56 K’ e kadar çıkmaktadır.

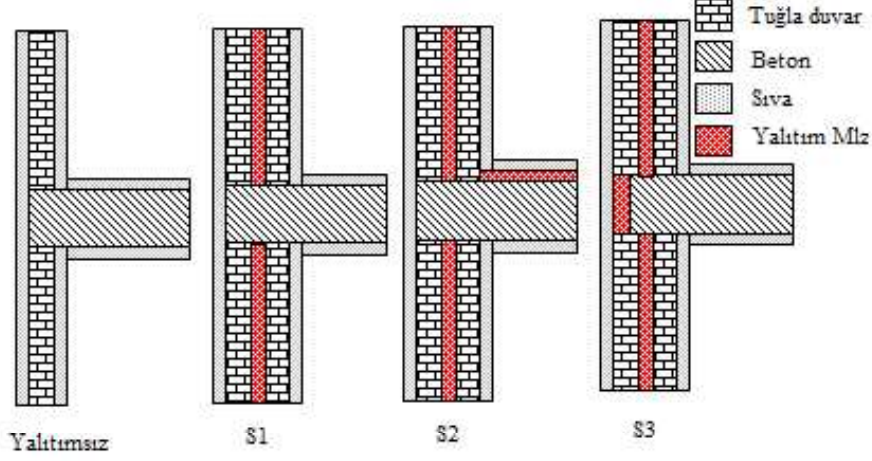


Şekil 4. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılımları



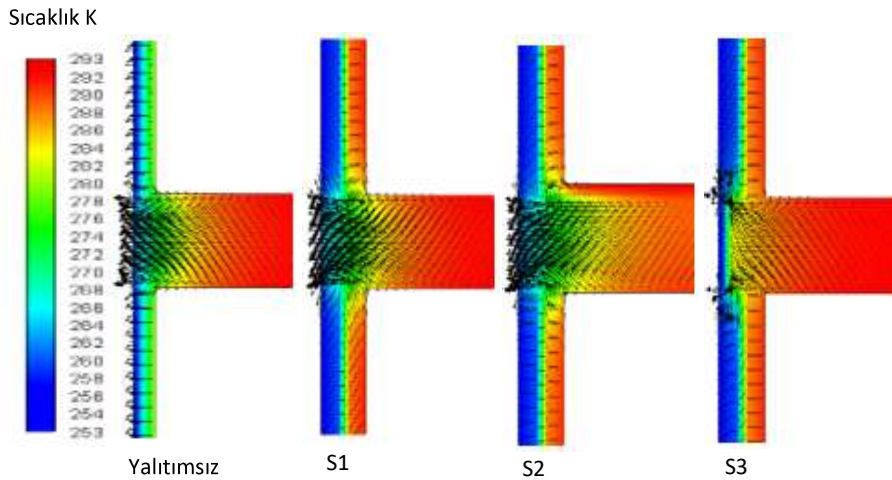
Şekil 5. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri

Çift duvar arası (sandviç) yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri Şekil 6’ da sergilenmektedir. Şekil 7’ de ise Şekil 6’ da bahsedilen ısı köprüsü modellerine ait sıcaklık dağılımı ve ısı akısı vektörleri verilmektedir. Ara kat döşemesi bölgesinde, ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu yalıtımsız durumda yoğun olmakla birlikte bu yoğunluk duvar kısmında daha azdır. S2 modelinde görüldüğü gibi çift duvar arası yalıtımın uygulanmasıyla duvarda ısı akısı vektörleri azalırken, duvar sıcaklığında artış elde edilmektedir. Fakat, giriş kısmındaki ısı akısı vektörlerinin yoğunluğundaki artış devam etmektedir. S2 modeli için ara kat döşemesi bölgesinde ısı akısı vektörlerinde yoğunluk devam ederken, üst katın taban yüzey sıcaklığında artış elde edilmektedir. S4 modelinde giriş önüne yapılan yalıtım ile ısı köprüsünün ısı kayıplarını azaltıcı etkisi azalarak girişe ısı depolama özelliği kazandırılmaktadır. Ayrıca, sandviç yalıtımın özelliği olarak yalıtımdan önceki soğuk ortama doğru olan duvar kesiti sıcaklığı düşük iken yalıtımdan sonraki iç ortama doğru olan duvar kesiti sıcaklığı ise yüksektir.

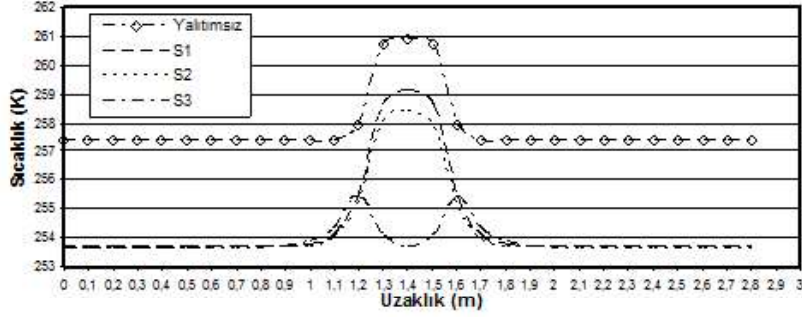


Şekil 6. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri

Şekil 8’ de sandviç (çift duvar arası) yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerine ait dış yüzey sıcaklığının değişimleri verilmektedir. Yalıtımın olmadığı durumda dış duvarın yüzeyinde elde edilen sıcaklık değeri, yalıtımlı duruma göre 3.73 K daha fazla olmaktadır. S1 modelinde sandviç yalıtımla birlikte ara kat döşemesinin orta kısmındaki sıcaklık değeri 259.1 K’ e düşerken, yalıtımın olmadığı durumda 260.86 K’ dir. S2 modeli için üst kat iç ortamda ara kat döşemesi yüzeyine uygulanan yalıtım ısı kayıplarını azalttığından dış yüzey sıcaklık değeri 258.36 K, S3 modeli için ise 253.72 K olmaktadır. Bununla birlikte, S3 modeli için ara kat döşemesinin alt ve üst kısımlarındaki ısı kayıpları nedeniyle sıcaklık değerlerinde artışlar görülerek, buralarda sıcaklık değeri 255.43 K olmaktadır.



Şekil 7. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılımları



Şekil 8. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri

GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İçten yalıtımlı duvar-ara kat kiriş döşemeli ısı köprüsünde kiriş önüne yalıtım uygulanması durumunda (İ3), yalıtımsız duruma göre ısı akısı değerinde %90'a varan oranda azalış sağlanmıştır. Ancak, yalıtımın süreksizliği nedeniyle oluşan ısı köprüleri tam olarak önlenememiş olup, kirişin al ve üst yüzeylerinde sıcaklıkta artışlar görülmektedir.

Sandviç duvar yalıtımlı duvar-ara kat kirişli ısı köprüsü modellerinde ise sandviç yalıtıma ilave olarak kiriş önüne de yalıtımın uygulandığı S3 modelinde ısı köprüsü etkisini azaltma yönünden en iyi sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak, ısı köprüsü etkisi tam olarak yok edilememiştir.

Bununla birlikte, ısı köprüsünün ısı kaybını artırıcı etkisini en alt düzeye indirebilmek için ara kat kiriş yüzeyinin bina dış yüzey tarafından ve iç ortamdan yalıtılması büyük fayda sağlayacaktır. Günümüzde, bireysel ısınmanın ve ısı pay ölçer ile faturalandırmanın yaygın olarak ön plana çıktığı düşünülürse bu tip yalıtım uygulama şekline dikkat edilmelidir. Ayrıca, en iyi yalıtım şeklinin hem yapı elemanına ısı depolama özelliği kazandırılarak ısıtıcı kapatıldığında çabuk soğumanın hem de ısı köprüsünün önlemesi açısından dıştan bir bütün olarak mantolama şeklinde olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Boronbaev E, Unaspekov B, Abdylbaeva A. Buildings enclosures coupling by its energy efficiency, seismic resistance and microclimate. *EasyChair Preprint*, 2021, 5376.
- [2] Karabulut K. Yapı elemanlarındaki ısı kayıplarının sayısal olarak incelenmesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 164, 2010.
- [3] EN ISO 10211-1 (2017). Thermal bridges in building construction- heat flows and surface temperatures-detailed calculations, Chapter 1: General Calculation Methods, Switzerland:Engineering 360.
- [4] CSTB (2000). Reglementation Thermique, Chapter 2, 3-5, Paris:Ademe.
- [5] Gao Y, Roux J.J, Zhao L.H. Dynamical building simulation: a low order model for thermal bridges losses. *Energy and Buildings*, 2008; 40 (12), 2236-2243.

- [6] Larbi AB. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings. *Energy and Buildings*, 2005; 37(9), 945-51.
- [7] Citterio M, Cocco M, Erhorn-Kluttig H. Thermal bridges in the EBPB context: overview on MS approaches in regulations. In Build Up. The European Portal for Energy Efficiency in Buildings; Information Paper P64 of the EPBD Buildings Platform, European Communities; 2008;1-9.
- [8] Kotti S, Telia D, James PAB. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a Greek residential building. *Procedia Environmental. Science*, 2017; 38, 306-313.
- [9] Theodosiou TG, Papadopoulos AM. The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings*, 2008; 40, 2083-2089.
- [10] Bergero S, Chiari A. The influence of thermal bridge calculation method on the building energy need: A case study. *Energy Proceedings*, 2018;148, 1042-1049.
- [11] Gao Y, Roux JJ, Zhao LH. Dynamical building simulation: A low order model for thermal bridges losses. *Energy and Buildings*, 2008;40, 2236-2243.
- [12] Karabulut K, Buyruk E, Fertelli A. Numerical investigation of the effect of insulation on heat transfer of thermal bridges with different types. *Thermal Science*, 2016; 20, 185-195.
- [13] Evola G, Margani G, Marletta L. Cost-effective design solutions for low-rise residential Net ZEBs in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 2014; 68, 7-18.
- [14] Baldinelli G, Bianchi F, Rotili A. A model for the improvement of thermal bridges quantitative assessment by infrared thermography, *Applied Energy*, 2018, 211, 854-864.
- [15] Asdrubali F, Baldinelli G, Bianchi F. Detection of thermal bridges from thermographic images by means of image processing approximation algorithms, *Applied Mathematics and Computation*, 2018; 317, 160-171.
- [16] Tejedor B, Barreira E, Almeida RMSF, Thermographic 2D U-value map for quantifying thermal bridges in building façades. *Energy and Buildings*, 2020; 224, 110176.
- [17] Ge J, Xue Y, Fan Y. Methods for evaluating and improving thermal performance of wall-to-floor thermal bridges. *Energy and Buildings*, 2021; 231, 110565.
- [18] Dilmaç S, Can A., Şenkal Sezer F. Ara kat kırıflı döşemelerinde içeriden ve dışarıdan yalıtım uygulamalarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2004; 80, 7-20.
- [19] Karakoç H. (2001). Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı. (2. Baskı). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.