



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Duvar Bloklarında Boşluk Geometrisinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi

 Ersin HAYDARASLAN ^{a,*},  Burhan ÇUHADAROĞLU ^b

^a Elektrik ve Enerji Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: haydaraslanersin@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1002564

ÖZ

Boşluklu bloklar, hafif ve yüksek ısı dirençleri sayesinde, binalarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu blokların kullanım koşullarına göre bloktaki hava boşluğunun oranı, geometrisi ve sayısının ısı akısına ve sıcaklık dağılımına etkilerinin incelenmesi gerekir. Bu amaçla çalışmada bir sıra iki boşluklu ve iki sıra iki boşluklu toplam sekiz farklı içyapı formunda bloğun, sabit sınır koşullarında ve zamandan bağımsız ısı analizleri yapılmıştır. Bloklarda boşluk oranı arttıkça, boşluklardaki hava hızının arttığı ve sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum iç yüzey sıcaklığını düşürürken dış yüzey sıcaklığını yükseltmiş ve yaklaşık %29 fazla ısı akısına neden olmuştur. Boşluk sayısının ısı akısına etkisi incelendiğinde, çalışmada kullanılan sınır koşullarında boşluk sayısının ısı geçişi doğrultusu boyunca fazla olmasının ısı akısını yaklaşık %29 oranında düşürmekte olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bloklarda boşluk oranı fazla veya boşluk sayısı az olsa bile, kaldırma kuvvetleri etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusunda boyutunun az olması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu blok, Blok içyapı formu, Isıl analiz, Doğal taşınım, Kaldırma kuvvetleri etkisi

Analysis of the Effect of Hollow Geometry of Wall Blocks on Heat Transfer

ABSTRACT

Hollow blocks have widespread use on building envelopes thanks to their lightweight and high thermal resistance. According to the usage conditions of these blocks, the effects of the ratio, geometry and number of the cavities in the block on the heat flux and temperature distribution should be examined. For this purpose, thermal analyses of the block in the form of eight different inner forms with one row of two cavities and two rows of two cavities in the market and literature were carried out under fixed boundary conditions and steady-state. It was observed that as the hollow ratio increased in the blocks, the air velocity in the cavities increased and the hot air clustered on the upper sides due to the buoyancy forces. This situation caused the inner surface temperature to decrease, the outer surface temperature increased, and %29 more heat flux. When the effect of the number of cavities on the heat flux was examined, it was found that, under the boundary conditions used in the study, the higher the number of cavities along the heat transfer direction, 29% reduced the heat flux. It was determined that the size of the cavity in the direction of the heat flux should be small to reduce the effects of the buoyancy forces, even if the hollow ratio is high or the number of cavities is low in the blocks.

Keywords: Hollow block, Block inner form, Thermal analysis, Natural convection, The buoyancy effect

I. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklara dayalıdır. Fosil kaynak kullanımı iklim değişikliğine neden olan sera gazları salınım miktarını artırmakta ve buna bağlı olarak özellikle gelişmiş ülkeler bu soruna çözüm bulmak için ortak çalışmalar yürütmektedir [1-3]. Avrupa'daki enerji kullanım dağılımlarına bakıldığında kentsel binaların nihai enerji kullanımının %60'ından sorumlu olduğu görülmektedir [4]. Ayrıca AB tarafından 2018 yılında binaların enerji performansının artırılması konusunda hazırlanan direktifte AB ülkelerinde tüketilen enerjinin %50'sinin binaların ısıtılması ve soğutulması için harcandığı belirtilmiştir [5]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2018 yılında yayınladığı rapora göre ise, dünyada enerji tüketimi ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarındaki artış nedeni ile 2010 yılından bu yana iki katına çıkmıştır [6]. Binalarda kullanılan enerjideki bu artış, geniş ölçüde önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Bu önlemlerden bir tanesi bina kabuklarında yapılacak iyileştirmelerdir. Bilindiği gibi bina kabuğunda yapılan ısı iyileştirme sayesinde enerji kullanımında tasarruf sağlanabilir.

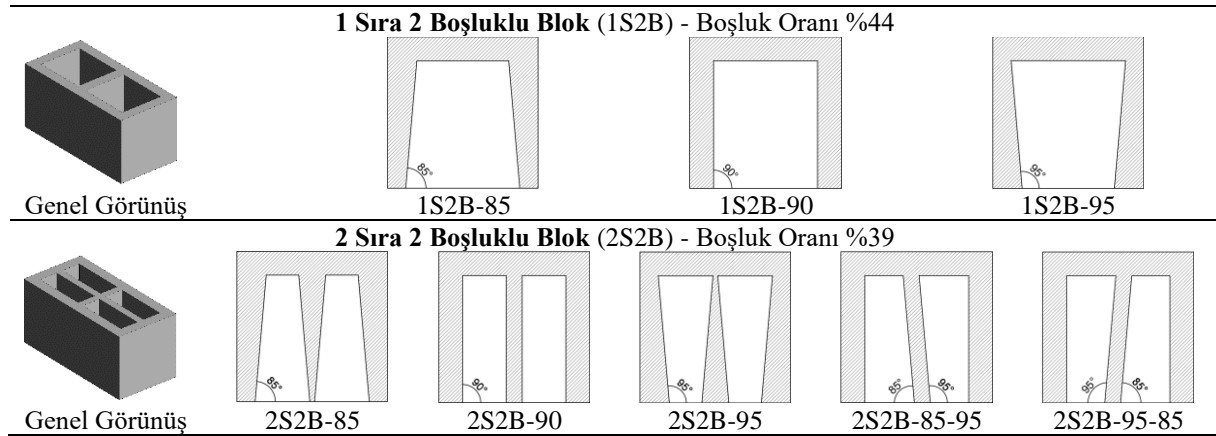
Bina kabuğunda (dış duvarlarında) kullanılmakta olan boşluklu bloklar, hafif yapıları ve yüksek ısı dirençleri nedeniyle yaygın bir kullanıma sahiptir. Piyasada belirli formlarda ve iç boşluk geometrisine sahip boşluklu bloklar üretilmektedir. Bloklardaki hava boşlukları bu blokların ısı direncinin artmasını sağlar. Ancak bloktaki hava boşluk oranı, geometrisi ve sayısının; ısı akısına ve sıcaklık dağılımına olan etkilerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir [7-12]. Bu amaçla yapılan çalışmalardan olan Flack vd. [13]'nin yaptığı çalışmada üçgen yapıdaki boşluklarda doğal taşınım hızının tahmini ve ölçümü yapılmıştır. Çalışmada 30°, 45° ve 60° taban açıları referans alınarak incelemeler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilmiş olan bulgulara göre; her bir açıda etki eden farklı kaldırma kuvvetlerinden dolayı ısı transferi de değişmektedir. Türkoğlu ve Yücel [14]; iki ve ikiden fazla boşluklu bloklarda ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada; boşluk sayısı arttıkça Rayleigh sayısı ve ortalama Nusselt sayısının arttığı görülmüştür. Artan Rayleigh sayısı ile taşınım olan ısı transferinin de arttığı belirtilmiştir. Al-Hazmy [9] katı bir bloğu referans alarak, içerisinde tek sıra üç kare boşluk bulunan bir blokta ısı analiz yapmıştır. Çalışmada; boşluklarda hava ve ısı yalıtım malzemesinin bulunduğu durumlar incelenmiştir. Katı bloğa göre içerisinde hava boşluğu bulunan blokta %63, boşluklarda ısı yalıtım malzemesi olması durumunda %73 daha düşük ısı akısı elde edilmiştir. Al-Tamimi vd. [15]; on iki farklı blok formunda ısı geçişini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada yapılmış olan simülasyon sonuçları, içi boş blokların optimum tasarlanmış geometrisinin, piyasada bulunan geleneksel içi boş bloklardan daha iyi ısı performansına sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmadan elde edilmiş olan deneysel bulgular ise optimum geometriye sahip yeni bloğun, diğer içi boş blok tasarımlarına kıyasla ısı transferini %71'e kadar düşürdüğünü göstermiştir. Alhazmy [16] boşluklu bloklarda, boşluk geometrisinin ısı akısına etkisini sayısal incelemiştir. Çalışmada boşluk içerisinde farklı sayılarda katlanmış tabakalar koyularak üçgen hücreler oluşturulmuştur. Çalışmada üçgen hücrelerin sayısı arttıkça doğal taşınım olan ısı transferinin düşmekte olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre hücreler ısı akısını, bölme sayısına ve malzemelere bağlı olarak %37-42 oranında düşürebilmektedir. Sun ve Fang [17] yetmiş bir adet boşluklu blok için sayısal bir ısı analiz yapmıştır. Çalışmada doğal taşınım etkileri dikkate alınarak boşluk boyutlarının ısı geçişine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; ısı geçişine paralel yönde boşluk sayılarının artması ile ısı transferi %25'e kadar düşmektedir Alghamdi ve Alharthi [11]; üç farklı geometrideki boşluğa sahip bloklarda, boşluk geometrisinin ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan geometriler dikdörtgen, köşegen ve altıgen yapıda oluşturulmuştur. Çalışmada boşluk şeklinin bloğun x ve y yönlerindeki ısı transferini önemli ölçüde değiştirmediği bulgusuna ulaşılmıştır. Z yönündeki ısı transferinin ise köşegen formda %6, altıgen formda %8 azaldığı belirlenmiştir. Antar ve Baig [18]; boşluklu bloklarda iletim ve taşınım olan ısı transferinin birleşik etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada blok boyutları sabit kalmak üzere, boşluk oranının değişmesi ile bloğun ısı direncinin değişebileceği görülmüştür. Boşluk oranı artırıldıkça daha düşük Rayleigh sayıları ile doğal taşınım etkilerinin azalmakta olduğu, bu sayede boşluklarda ısı yalıtım malzemesinin kullanıldığı durumdaki ısı dirence yaklaşıldığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak, boşluklu blokların içyapı formlarının ısı transferine etkileri incelenmiştir. Bu inceleme piyasada ve literatürde yer alan bir sıra iki boşluklu ve iki sıra iki boşluklu bloklar için yapılmıştır. Bu iki bloğun içyapı formlarında değişiklikler yapılarak toplam sekiz farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken literatürde yer alan formlardan farklı olarak blok içerisindeki boşluğun, bloğun alt yüzeyinden üst yüzeyine doğru veya üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru daralan-genişleyen formda (açıda) olması ile literatüre yeni bir blok içyapı formu kazandırılması amaçlanmıştır ve çalışmanın özgün değerini oluşturmuştur. Boşluklu bloklarda sıcaklık dağılımları, ısı akıları ve boşluklardaki hava hareketine ait hız alanları Ansys Fluent 2020 R1 kodu ile elde edilmiştir. Elde edilen sıcaklık dağılımları ve ısı akıları boşluk oranı, geometrisi ve sayısı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında belirli bir sınır koşulunda ve zamandan bağımsız (daimi) durum için ısı performans açısından en uygun içyapı formu belirlenmiştir.

II. METOD

A. BLOK ÖRNEKLERİ

Çalışma için boşluklu blok içyapı formları piyasada ve literatürde yaygın olarak kullanılanlar arasından seçilmiştir [15, 19-22]. Bu formlardaki boşluk oranı, boşluk sayısı ve boşluk geometrisinin ısı transferine etkileri incelenmiştir. Çalışmada; en, boy ve yüksekliği 190x390x190 mm olan sekiz farklı içyapı formuna sahip boşluklu blok kullanılmıştır. Blok içyapı tasarımları ve boşluk oranları Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Boşluklu blok formları ve boşluk oranları.

B. MATEMATİKSEL MODEL

Çalışmada boşluklu bloklardaki ısı akısı ve sıcaklık dağılımını elde etmek üzere, zamandan bağımsız, sabit ısı özellik kabulü ile üç boyutlu enerji ve momentum denklemleri kullanılmıştır. Çözümlemede Şekil 2’de görülen koordinat sistemi kullanılmıştır. Sadece boşlukların içerisindeki hava yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değiştiği kabul edilmiştir. Bu sayede boşlukların içerisindeki havanın doğal taşınım ile hareketi incelenmiştir. Bloklardaki ısı iletimi denklemi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Boşluklardaki hava için süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

x, y ve z doğrultularındaki momentum denklemi:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u \quad (3)$$

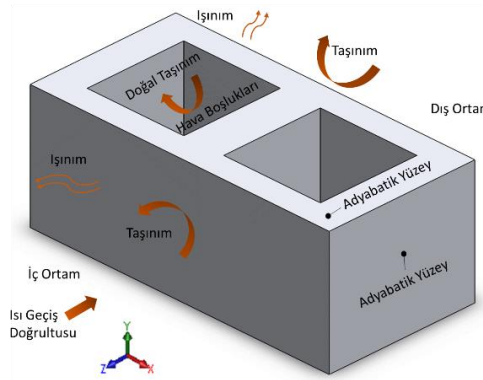
$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + g\beta(T - T_c) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w \quad (5)$$

Enerji denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T \quad (6)$$

Burada T sıcaklık (K), u, v, w hız bileşenleri (m/s), p basınç (N/m²), k ısı iletim katsayısı (W/mK), C_p sabit basınçta özgül ısı (J/kgK), ρ yoğunluk (kg/m³), β ısı genleşme katsayısı (1/K) ve ν kinematik viskozitedir (m²/s). Yukarıda yer alan temel denklemler Ansys Fluent 2020 R1 programı kullanılarak çözülmüştür.



Şekil 2. Blok üzerinde koordinat sistemi ve sınırların perspektif görünüşü.

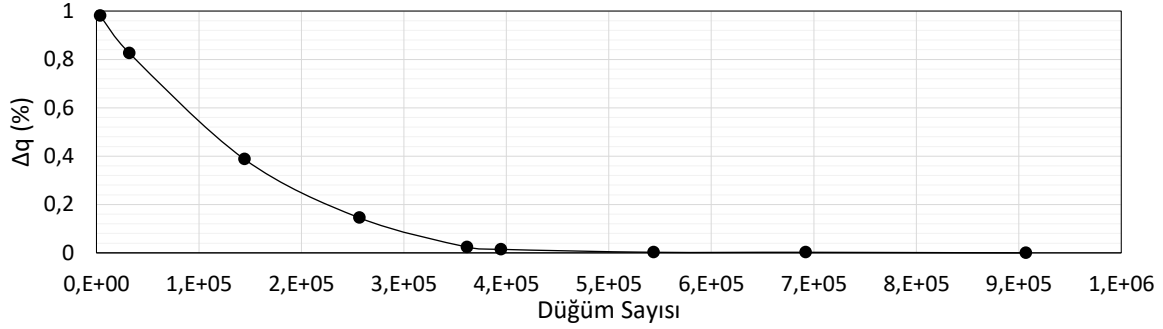
C. SAYISAL BENZEŞİM

Havadan olan ısı transferinin, blok malzemesinin ısı iletiminden daha düşük olduğu durumlarda, boşluklu bloklardaki ısı transferi daha fazla hava boşluğu kullanılarak düşürülebilir. Ancak blok içerisindeki boşluk oranı arttıkça doğal taşınım etkilerinden dolayı her zaman ısı transferi azalmayabilir. Bu amaçla Şekil 1'de görülen boşluklu bloklarda belirli sınır koşulları için ısı akısı ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çözümleme zamandan bağımsız yapılmıştır ($\partial T/\partial t = 0$). Boşluklu blokların boyutları bu çalışmada bir inceleme parametresi olmadığı için bütün boşluklu bloklar için standart boyutlar göz önüne alınarak modellenme yapılmıştır. Bu sayede boşluk oranı ve boşluk geometrisinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sayısal çalışmalarda sonuçlar ağ yapısı ve ağ boyutlarına göre farklılık gösterebildiği için, yapılan bir ön çalışma ile çözümlerin ağdan bağımsız olması sağlanmıştır. Boşluklu bloklara 3600 ile 910000 aralığında düğüm noktası sayısı ile ağ atanarak ısı akıları elde edilmiştir. Elde edilen ısı akıları aralarındaki bağıl farklar (7) nolu eşitlik ile verilmiş olan Δq (%) ile hesaplanarak ağdan bağımsız çözümü veren düğüm sayısı belirlenmiştir.

$$\Delta q (\%) = \left[\frac{q_i - q_\infty}{q_\infty} \right] \times 100 \quad (7)$$

Burada q_i değişken düğüm sayısındaki ısı akısı, q_∞ ise 910000 düğüm sayısındaki ısı akısıdır. Hesaplanan değerlerin düğüm sayısına göre olan değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Değişim grafiğinden de görüldüğü gibi; düğüm sayısı 500000'den sonra Δq %0.01'den küçük olduğu için sonuçların ağıdan bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Bu düğüm sayısı için blokta 0.007 m, hava boşluğunda 0.003 m boyutlarına sahip yapılandırılmamış ağ kullanılmıştır.



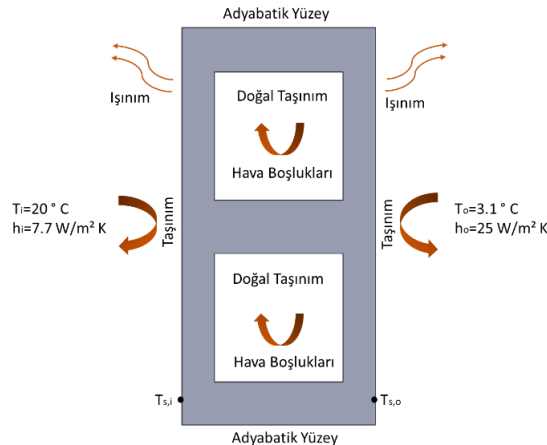
Şekil 3. Δq için ağ bağımsızlık incelemesi.

Sayısal çalışmada blok malzemesi için pomza özellikleri, boşluklarda ise hava özellikleri tanımlanmıştır. Pomza [19] ve hava [23] için gerekli olan fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda görülen hava yoğunluğu ortalama değer olup, çalışmada yoğunluğun sıcaklıkla olan değişimi göz önüne alınmıştır.

Tablo 1. Malzeme özellikleri.

	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/kg K)	Isı İletkenliği (W/m K)
Pomza (Blok)	1000	1000	0.280
Hava	1.225	1006.43	0.0242

Çalışmada dış ortam sıcaklık sınır koşulu için İstanbul dış hava sıcaklığı (3.1 °C) kullanılmıştır. İç ortam sıcaklığı (20 °C), iç ortam ısı taşınım katsayısı (7.7 W/m² K) ve dış ortam ısı taşınım katsayısı (25 W/m²K) Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kurallarında (TS 2164) yer alan değerler olarak kullanılmıştır [24]. Blok kısmında ısı iletimi, boşluklarda ve blokların dış yüzeylerinde ısı taşınım tanımlanmıştır. Bir duvarda bloklar üst üste ve yan yana koyulduğu için bloğun alt, üst ve yan yüzeyleri adyabatik olarak tanımlanmıştır (Şekil 4).

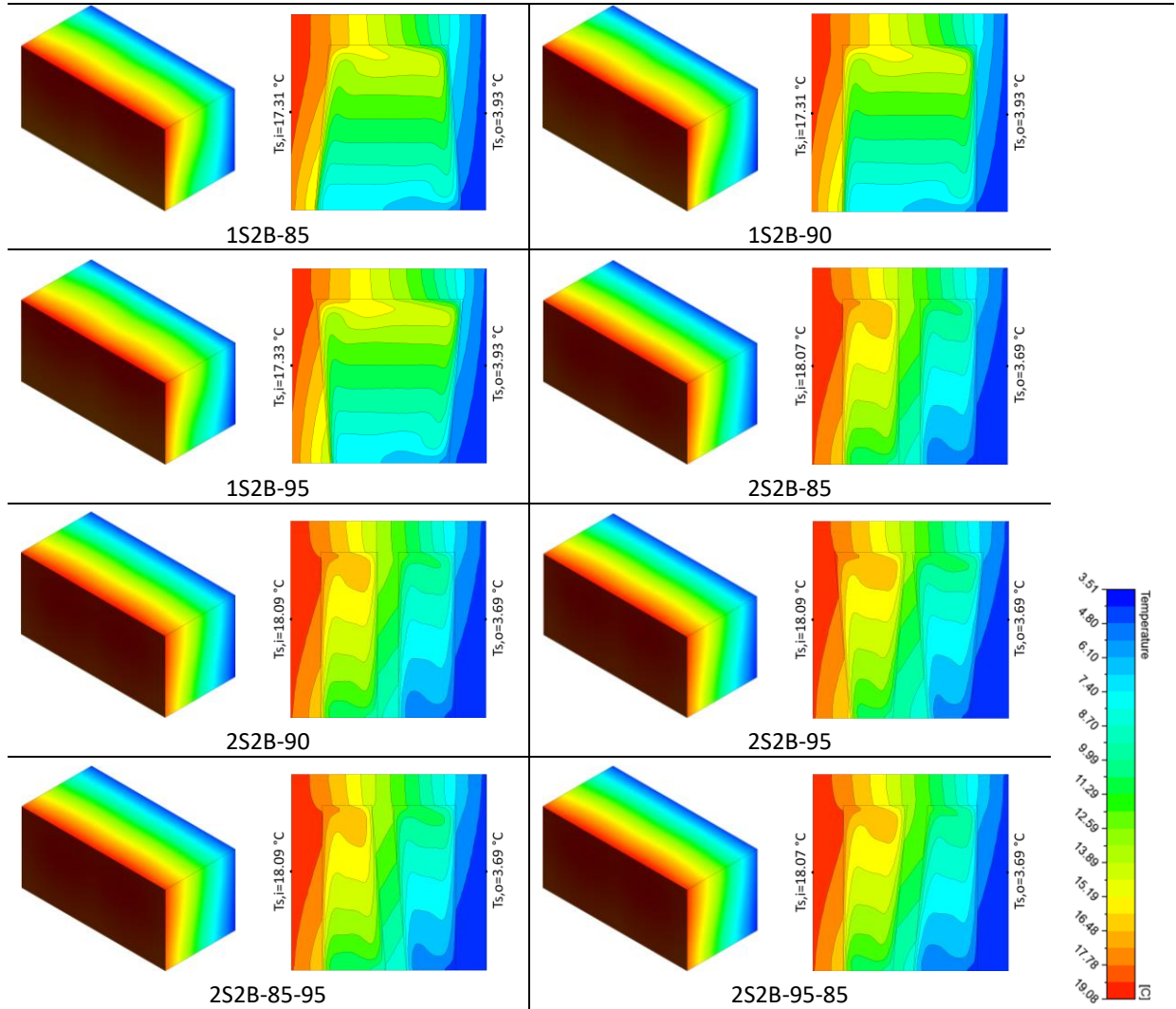


Şekil 4. Çalışmada kullanılan bloklara ait sınır koşulları.

Çalışmadaki temel denklemlerin ayrıklaştırılmasında Patankar [25] tarafından önerilen ayrıklaştırma yöntemi kullanılmıştır. Denklemlerdeki sabit terimler, birinci dereceden implisit yöntem benimsenerek ayrıklaştırılmış ve SIMPLE [25] algoritması kullanılmıştır. Momentum ve enerji denklemlerindeki difüzyon terimlerini ve taşınım terimlerini ayrıklaştırmak için ikinci dereceden doğrulukla enterpolasyon yapılmıştır [26]. Ek olarak ışınımla ısı transferi için DO (Discrete Ordinates) radyasyon modeli kullanılmıştır [27]. Boşluklu bloğun içindeki sıcak yüzeyin yanında doğal taşınım sınır tabakasında $Ra \cong 10^5 < 10^9$ olduğundan, viskoz kuvvetleri hesaplamak için laminer model kullanılmıştır. Bunun yanında, $Gr_L/Re_L^2 > 1$ olduğundan hesaplarda kaldırma kuvveti etkileri dikkate alınmıştır [28]. Analizlerde yakınsama kriteri süreklilik ve momentum denklemleri için literatürde en az 10^{-5} , enerji denklemi için en az 10^{-6} olarak önerildiğinden [26,29] çalışmada da bu değerler yakınsama kriteri olarak kullanılmıştır. Al-Hazmy [9]; bu çalışmada kullanılan algoritmayı de Vahl Davis [30] tarafından yapılmış olan karşılaştırmalı ve sayısal çözümlü çalışma ile doğrulamıştır.

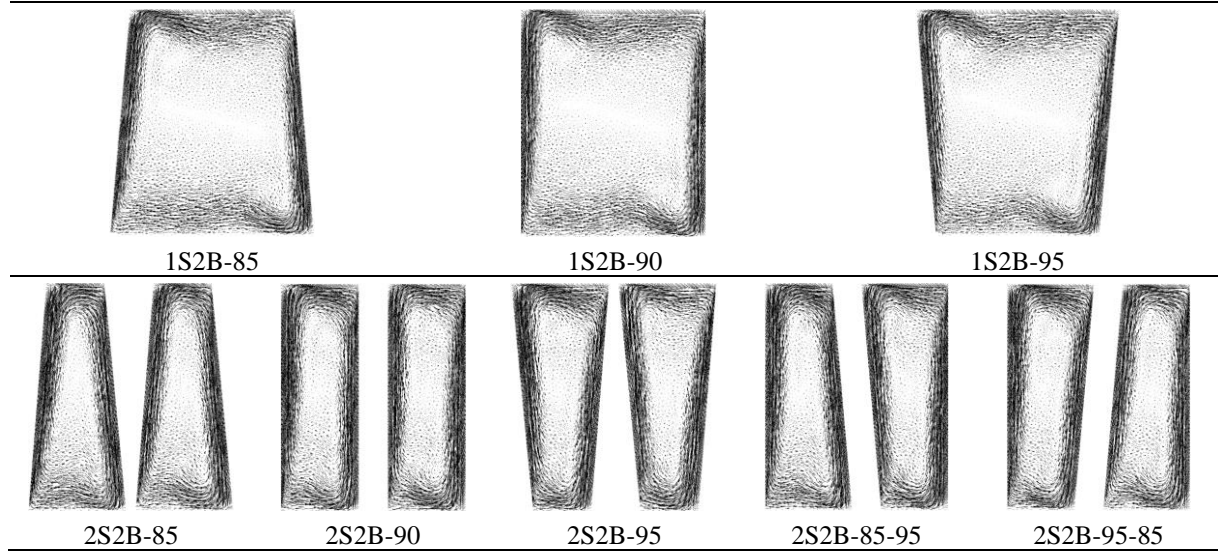
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı içyapı formlarında sekiz adet boşluklu blok için ısıl analizler yapılmıştır. Bloklarda hesaplanmış olan sıcaklık değerlerine göre blokların perspektif ve kesit görünüşleri üzerinde eş sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen iç/dış yüzeylerdeki ortalama sıcaklıklar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bloklarda sıcaklık eşeğrileri.

Bloklardaki boşluk oranları 1S2B modellerinde %44, 2S2B modellerinde %39'dur. Bloklarda boşluk oranı ile sıcaklık dağılımı ve ısı akısı arasındaki ilişkiye bakıldığında; 1S2B modellerinde ortalama iç yüzey sıcaklıkları ($T_{s,i}$) 17.31 °C ile 17.33 °C aralığında, ortalama dış yüzey sıcaklıkları ($T_{s,o}$) 3.93 °C olurken, 2S2B modellerinde bu sıcaklıklar iç yüzeyde 18.07 °C ile 18.09 °C aralığında, dış yüzeyde 3.69 °C olmuştur. Aynı boşluk oranlarında fakat farklı içyapı formlarında olan 1S2B modellerinde yüzey sıcaklıkları farkı 10^{-3} 'ten daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu 2S2B modelleri için de aynıdır. Yüzey sıcaklıklarındaki değişim az olsa da ısı akıları farklılık göstermiştir. Boşluk oranı ve boşluk geometrisinin ısı akısına etkilerini görebilmek amacıyla bloklardaki boşluklarda hava hareketine ait hız alanları çizdirilmiştir (Şekil 6).



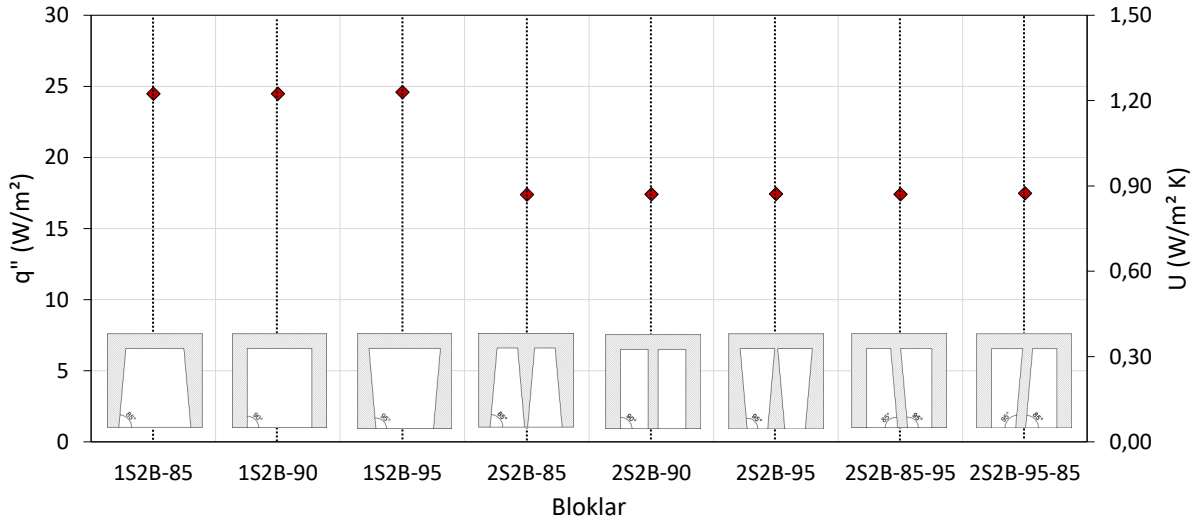
Şekil 6. Bloklardaki boşluklarda hız alanları.

Hız alanları incelendiğinde boşluk oranı arttıkça havanın boşluk içerisindeki hızının arttığı görülmüştür. Ayrıca 1S2B ve 2S2B modellerinde 85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda hava hızı artmaktadır. Hava hızının artması ile ısı akısının da arttığı görülmüştür. Ayrıca eşsıcaklık eğrilerinden de görüldüğü gibi boşluk oranı arttıkça sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu yoğunlaşma 85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda daha fazla olmakta ve buna bağlı olarak daha yüksek ısı akısına neden olmaktadır. Bu davranış iç yüzey sıcaklığını düşürürken dış yüzey sıcaklığını yükseltmiştir. ısı akısı %44 boşluk oranına sahip 1S2B modellerine kıyasla, %39 boşluk oranına sahip 2S2B modellerinde yaklaşık %29 oranında düşmüştür. Literatürde boşluk oranı arttıkça ısı akısının azaldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Al-Hazmy'nin [9] çalışmasında kullanılan blok malzemesinin ısı iletim katsayısı ($k=1$ W/mK) bu çalışmada kullanılan ($k=0.28$ W/mK) farklıdır. Dolayısıyla elde edilen bulgular; bloklarda boşluk oranının yanı sıra, blok malzemesi ısı iletim katsayısının da ısı akısı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ancak bloklarda boşluk oranı artırılabilir kaldırma kuvvetlerinin etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusundaki boyutunun az olması gerektiği görülmüştür. Çünkü blokların içindeki doğal taşınımı bastırmak, blokların ısı direncini artırmaktadır [16]. Bu bulgu ile Sun ve Fang'ın [17] yaptığı çalışmanın bulguları benzerlik göstermiştir. Diğer bir yandan, Al-Tamimi vd. [15] çalışmalarında boşluk oranını artırarak bloğun katı kısımlarını azaltmış ısı analizleri yapmıştır. Boşluk oranını artırarak bloğun katı kısımlarını azaltılması ile, katı kısımlarda iletimle olan ısı transferinin azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmada optimum tasarıma sahip bir blok ile ısı transferi %71'e kadar düşürülmüştür. Literatürde yer alan ve bu çalışmada elde edilen bulgular, bloklarda boşluk oranının, bloktaki ısı transferi açısından önemli olduğunu göstermiştir.

1S2B-90 modelinde ısı geçişi doğrultusunda bir adet (blok içerisinde toplam iki adet), 2S2B-90 modelinde ise iki adet (blok içerisinde toplam dört adet) boşluk bulunmaktadır. Bu iki modelin boşluk oranları aynı olmasa da kaldırma kuvvetlerinin etkilerindeki farklılık açık bir şekilde görülmektedir. 1S2B-90 modeline kıyasla ısı geçiş doğrultusu boyunca kaldırma kuvvetlerinin bastırıldığı 2S2B-90

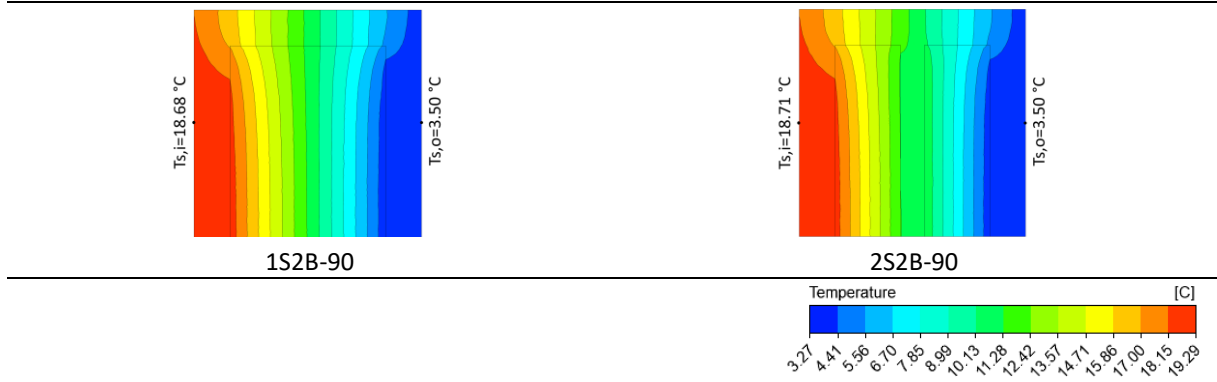
modelinde, ısı geçişi yaklaşık %29 oranında düşmektedir. Bu bulgu boşluk sayısının ısı transferine etkisini inceleyen Sun ve Fang'ın [17] yaptığı çalışmadaki bulgular ile benzerlik göstermiştir. Sun ve Fang çalışmasında boşluk sayılarını artırarak ısı transferinde %0.0049 ile %22.50 aralığında azalma olduğunu belirtmiştir. Bunun yanında Al-Tamimi vd. [15] boşluk sayısını çok fazla artırmanın blok içerisindeki ısı köprülerini artırdığını ve buna bağlı olarak ısı transferinin arttığını belirtmiştir. Bu nedenle boşluk sayısının bloğun içyapı formuna bağlı olarak optimum sayıda olması ısı transferi açısından önemlidir.

2S2B-85-95 ve 2S2B-95-85 modelleri aynı boşluk oranına sahip olup, ilk modelde ısı geçişinin y yönünde daralan formdan genişleyene, diğerinde ise genişleyen formdan daralana doğru olması sağlanmıştır. Bu sayede Şekil 4'te görülen sınır koşullarındaki ısı geçiş yönünün ısı transferine etkisi incelenmiştir. Isı ilk olarak daralan forma girdiğinde (2S2B-85-95) üst taraftaki sıcak hava yoğunlaşması, 2S2B-95-85 modeline göre daha az olmuştur. Ayrıca ilk modelde iç yüzeye yakın boşluk içindeki havanın hızı diğer modele kıyasla daha azdır. Bu sayede 2S2B-85-95 modelinde ısı akısı 2S2B-95-85 modeline kıyasla %0.3 daha düşük olmuştur. Bu bulgular aynı boşluk oranına sahip bloklarda boşluk geometrisinin ısı transferini etkilediğini göstermektedir. Sonuç olarak, Şekil 4'te verilen sınır koşulları için hesaplanmış olan bloklardaki ısı akıları (q'') ve toplam ısı geçirme katsayıları (U) Şekil 7'deki diyagram üzerinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük ısı akısı ve U değerine sahip olan blok 2S2B-85 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Bloklarda hesaplanan ısı akıları ve toplam ısı geçirme katsayıları.

Bu çalışmada belirlenen sınır koşullarında $Gr_L/Re_L^2 > 1$ olduğu için doğal taşınım ile olan ısı transferinin ihmal edilmesi elde edilen sonuçlarda hata oranının fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak doğal taşınım etkilerinin göz ardı edilmesi durumunda, boşluk oranı ve ısı akısı arasındaki ilişkinin nasıl olacağı da çalışmada incelenmiştir. Şekil 4'te verilmiş olan sınır koşullarında 1S2B-90 ve 2S2B-90 modelleri için yeniden hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 8'de verilmiştir. Doğal taşınım kaynaklı kaldırma kuvveti etkileri göz ardı edildiğinde boşluk içerisinde sıcak hava yoğunlaşmasının olmadığı gözlemlenmiştir. %44 boşluk oranına sahip 1S2B-90 modelinde ısı akısı 10.22 W/m² olurken, boşluk oranı %39 olan 2S2B-90 modelinde bu değer 9.90 W/m²'ye düşmüştür. Doğal taşınım etkilerinin göz ardı edilmediği modellerdeki sonuçlara göre ise ısı akısı yaklaşık %50 daha düşmektedir. Boşluk oranı ve ısı akısı arasındaki ilişki, doğal taşınımın göz ardı edilmediği modellerle paralel çıkmıştır. Bu sonuçta blok malzemesinin ısı iletim katsayısının az olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Doğal taşınım etkileri göz ardı edilen 1S2B-90 ve 2S2B-90 modellerinde sıcaklık eş eğrileri.

IV. SONUC

Fosil kaynakların yakın gelecekte tükeneceğinin ön görülmesi, enerjinin kullanımının azaltılması ve korunumunun artırılması konusunda çalışmaların önemini artırmıştır. Dünyada kullanılan toplam enerji içerisinde binalarda kullanılan enerji payının yüksek olması ise bu alana daha fazla odaklanılması gerektiğini göstermektedir. Binaların enerji kullanımları incelendiğinde, ısı geçişlerinin en fazla olduğu yapı bileşenlerinin bina kabukları olduğu görülmektedir. Bina kabuklarında ise yaygın olarak duvar blokları kullanılmaktadır. Duvar bloklarında yapılan ısı iyileştirmeler, doğrudan binaların enerji kullanımını etkilemektedir. Bu doğrultuda çalışmada duvar bloklarında yapılabilecek ısı iyileştirmeler üzerine çalışılmıştır. Farklı içyapı formlu boşluklu bloklarda doğal taşınımlı ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bloklarda boşluk oranı arttıkça, kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle havanın boşluk içerisindeki hızının arttığı görülmüştür. Hava hızının artmasıyla, iç yüzey sıcaklığı azalmakta, dış yüzey sıcaklığı artmaktadır. Bu durumda ısı akısı daha yüksek olmaktadır. Çalışmada boşluk oranının azalması ile ısı akısı yaklaşık %29 oranında azalmıştır.
- Çalışmadan elde edilen bulgular literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bloklarda boşluk oranının yanı sıra, blok malzemesi ısı iletim katsayısının da ısı akısı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- y yönünde genişleyen formdaki (85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda) boşluklarda da hava hızının arttığı ve sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu yoğunlaşma daha yüksek ısı akısına neden olmuştur.
- Çalışmada boşluk sayısının ısı transferine etkisi incelenmiştir. Boşluk sayısının ısı geçişi doğrultusu boyunca fazla olmasının ısı transferini düşürmekte olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan sınır koşullarında, boşluk sayısının artırılması ile ısı akısı yaklaşık %29 azalmıştır.
- Bloklardaki boşluk oranı ve sayısından bağımsız olarak, kaldırma kuvvetleri etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusundaki boyutunun az olması gerektiği belirlenmiştir.
- Doğal taşınımdan kaynaklı kaldırma kuvveti etkileri göz ardı edildiğinde, boşluk içerisinde sıcak hava yoğunlaşmasının olmadığı gözlenmiştir. Bu durum ısı akısını düşürmekte ancak doğal taşınımla olan ısı transferinin göz ardı edilmesi bu çalışmada belirlenen sınır koşullarındaki hesaplar için hata oranının fazla olmasına neden olmaktadır.
- Çalışmada kullanılan boşluklu bloklardan 2S2B-85 diğer bloklara kıyasla yaklaşık %30 daha düşük ısı akısı ile en iyi ısı performansını gösteren blok olmuştur.

Sonuç olarak boşluklu blok tasarımlarının boşluğun kullanılacağı koşullara bağlı olarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Bu sayede bloklardan daha yüksek ısı performansını elde edilerek enerjinin korunumu artırılabilir. Buna bağlı olarak da binalarda kullanılan enerji miktarı azaltılabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: FDK-2021-9298).

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Gerden, "The Adoption of the Kyoto Protocol of the United Nations Framework Convention on Climate Change," *Contributions to Contemporary History*, vol. 58, no. 2, pp. 160-188, 2018.
- [2] Anonymous, "World Energy Outlook 2020," International Energy Agency, Paris, France, 2020.
- [3] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of Council of 11 Dec 2018 on energy efficiency (2018, Dec). *Official Journal of the European Union*, 2018. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu>.
- [4] Anonymous, "Energy Technology Perspectives 2019," International Energy Agency, Paris, France, 2019.
- [5] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 30 May 2018 on the energy performance of buildings (recast) (2020, June). *Official Journal of the European Union*, 2019. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu>.
- [6] Anonymous, "Global Energy CO2 Status Report 2018," International Energy Agency, Paris, France, 2020.
- [7] J. J. del Coz Díaz, P. J. García Nieto, C. Betegón Biempica, and M. B. Prendes Gero, "Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 1445-1456, 2007.
- [8] H. Syiemiong, C. Marthong, "Effect of mortar grade on the uniaxial compression strength of low-strength hollow concrete block masonry prisms," *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, no. 2, pp. 842-845, 2020.
- [9] M. M. Al-Hazmy, "Analysis of coupled natural convection–conduction effects on the heat transport through hollow building blocks," *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 515-21, 2006.
- [10] M.P. Morales, M.C. Juárez, P. Muñoz, J.A. Gómez, "Study of the geometry of avoided clay brick using non-rectangular perforations to optimise its thermal properties," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2494-98, 2011.
- [11] A. A. Alghamdi, H. A. Alharthi, "Multiscale 3D finite-element modelling of the thermal conductivity of clay brick walls," *Construction and Building Materials*, vol. 157, pp. 1-9, 2017.
- [12] J. J. Zhang, C. H. Yang, J.S. Zhang, "Thermal characteristics of aluminium hollowed bricks filled with phase change materials: Experimental and numerical analyses," *Applied Thermal Engineering*, vol. 155, pp. 70-81, 2019.
- [13] R. D. Flack, B. Klaus "Measurement and prediction of natural convection velocities in triangular enclosures," *International Journal Heat and Fluid Flow*, vol. 16, no. 2, pp. 106-113, 1995.

- [14] H. Türkoğlu, N. Yücel, "Natural convection heat transfer in enclosures with conducting multiple partitions and side walls," *Heat and Mass Transfer*, vol. 32, pp. 1-8, 1996.
- [15] A. S. Al-Tamimi, O. S. B. Al-Amoudi, M. A. Al-Osta, M. R. Ali, A. Ahmad, "Effect of insulation materials and cavity layout on heat transfer of concrete masonry hollow blocks," *Construction and Building Materials*, vol. 254, pp. 119300, 2020.
- [16] M. M. Alhazmy, "Numerical investigation on using inclined partitions to reduce natural convection inside the cavities of hollow bricks," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 49, pp. 2201-2210, 2010.
- [17] J. Sun, L. Fang, "Numerical simulation of concrete hollow bricks by the finite volume method," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 5598-5607, 2009.
- [18] M. A. Antar, H. Baig, "Conjugate conduction-natural convection heat transfer in a hollow building block," *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 3716-3720, 2009.
- [19] Kâgir ve kâgir mamulleri-Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri, TS EN 1745, Türk Standartları Enstitüsü, 2012. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://intweb.tse.org.tr/Standard>
- [20] Anonim. (2021, Şubat). İzolasyonlu Hafif Yapı Elemanları Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teknobims.com.tr/katalog.pdf>
- [21] Anonim. Denge Bims (2021, Şubat). Bims Özellikleri Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.dengebims.com.tr/katalog.pdf>
- [22] Anonim. Blok Bims (2021, Ocak). Bims Özellikleri Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.blokbims.com.tr/katalog/blok-bims-katalog.pdf>
- [23] Anonymous. Ansys Fluent 2020 R1 (2020, Şubat). User's Guide [Online]. Available: <https://ansyshelp.ansys.com>
- [24] *Kalorifer tesisatı projelendirme kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, TS 2164, 1983.
- [25] V. S. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, USA, Taylor and Francis, 1980, pp. 197.
- [26] Y. Gao, F. He, X. Meng, Z. Wang, M. Zhang, H. Yu, W. Gao, "Thermal behavior analysis of hollow bricks filled with phase-change material (PCM)," *Journal of Building Engineering*, vol. 31, pp. 101447, 2020.
- [27] X. Meng, J. Du, Y. Wang, Y. Gao, "Thermal performance optimization of building floors under air-conditioning intermittent operation by numerical simulation," *Journal of Building Physics*, vol. 43, pp. 99-120, 2019.
- [28] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed., USA, John Wiley and Sons, 2011, pp. 1070.
- [29] E. M. Alawadhi, "Thermal analysis of a building brick containing phase change material," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 351-57, 2008.
- [30] G. D. V. Davis, "Natural convection of air in a square cavity: A benchmark numerical solution," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 3, pp. 249-64, 1983.