

FARKLI TUĞLA BOŞLUĞU DÜZENLEMLERİNİN ISIL DİRENÇ ÜZERİNE ETKİSİ

Effect Of Different Brick Hole Arrangements On The Thermal Resistance

**Furkan Erman Kan
Mehmet Emin Arıcı**

ÖZET

Yapı dolgu malzemeleri arasında önemli bir yere sahip tuğlada gerçekleşen ısı transferi, tuğla katı cidarlarında iletim ve boşluklardaki gerçekleşen doğal taşınımından oluşan bir birleşik (conjugate) ısı transferi problemidir. Yapı dolgu malzemelerinin yük taşıma kapasitesi olmadığından, kolay üretim ve montajın yanı sıra istenilen önemli özelliklerden biri de yüksek ısı dirence sahip olmalarıdır. Bu yüksek ısı direnci yapı dış kabuğunda ve yapı bölümleri arasında gerçekleşen ısı geçişinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Yapı tuğlalarında yüksek ısı direncin elde edilmesi, tuğlanın düşük ısı iletkenliğe sahip malzemeden üretilmesi, boşluklardaki gerçekleşen doğal taşınım mekanizmasını yavaşlatmak veya her ikisinin birlikte gerçekleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, boşlukların eşit olmayan aralıklarla dağıtılması ve yatayla 45° açılı konumlandırma tasarlanmasının doğal taşınım etkisini zayıflatılması yoluyla ısı direncinin artırılması amaçlanmıştır. Çalışma da karşılaştırma yapabilmek amacıyla standart bir tuğla modeli belirlenmiş ve farklı oryantasyonlarda hacim/boşluk oranı standart elemana göre belirlendi. Deneysel çalışmada 67,5 mm x 95 mm x 95mm boyutlarında bir adet standart kare boşluklu tuğla, dört adet eşit boşluklara sahip olmayan tuğla, birer adet yatayla 45° açılı kare boşluklu ve altıgen boşluklu tuğla 3B yazıcıda PLA filament malzemeden üretildi. Üretilen modeller üzerinde değişken ısı güçlerinde sıcaklık analizleri gerçekleştirildi. Farklı ısı güçleri için, sıcaklık farkı-ısı direnci ilişkisi ortaya çıkartıldı. Sonuçlar, tuğladaki toplam ısı direncin, tuğla yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile değişimi olarak sunuldu. Isı transferi yönünde genişleyen boşluk yapılandırmasının ısı direnci artışı için en uygun yapılandırma ve bunun tersi olan yapılandırmanın ise ısı direnci azaltan yapılandırma olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu tuğla, Değişen ardışık boşluklar, Doğal taşınım, Isıl direnci.

ABSTRACT

Heat transfer occurring in brick, which has an essential place among building filling materials, is a conjugate heat transfer problem consisting of conduction in solid brick walls and natural convection in cavities. Since building filling materials do not have a load-bearing capacity, one of the important features besides easy production and assembly is their high thermal resistance. This high thermal resistance constitutes an essential place in the heat transfer between the building shell and the building parts. High thermal resistance in building bricks is achieved by producing the brick from materials with low thermal conductivity, slowing down the natural convection mechanism in the gaps, or performing both together. This study aims to increase thermal resistance by distributing the gaps at unequal intervals and reducing the horizontal positioning design's natural convection effect with a 45° angle. In the study, a standard brick model was determined for comparison, and the volume/void ratio in different orientations was determined according to the standard element. One standard square hollow brick of 67.5 mm x 95 mm x 95mm, four unequal hollow bricks, one horizontally 45° angled square hollow, and hexagonal hollow brick was in the experimental study produced from PLA filament material on a 3D printer. Temperature analysis at variable thermal powers was performed on the produced models. The relationship between temperature difference and thermal resistance was found

for different thermal powers. The results are presented as the variation of the total thermal resistance in the brick with the temperature difference between the brick surfaces. It was seen that the widening gap configuration in the direction of heat transfer is the most suitable configuration for the increase in thermal resistance, and the opposite configuration is the configuration that reduces thermal resistance.

Key Words: Hollow brick, Altered successive holes, Natural convection, Thermal resistance.

1. GİRİŞ

Tuğlalar ve benzeri dolgu malzemeleri, dış duvarda ve iç ortamı bağımsız bölgelere ayırmada kullanılan yapı elamanlarıdır. Özellikle bina dış duvarında kullanılan tuğlalar, yapının ısı kaybına ya da kazancına etki eden en önemli yapı bileşenidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, yüksek ısı dirence sahip tuğlaların binanın toplam ısı geçirgenliğini azaltacağı ve böylece yalıtım uygulamasının düşük maliyette gerçekleşeceği görülür. Tuğlanın yüksek ısı dirence sahip olması; düşük ısı iletkenli malzemedan üretilmiş olmaları, boşluklardaki taşınım mekanizmasını zayıflatılması veya her ikisini birden gerçekleştirmesiyle mümkün olabilir. Yapılarda ısı kaybı veya ısı kazancı ile ilgili çalışmaların sayısında artış olduğu hem süreli yayınlarda yer alan makale başlıklarından hem de bilimsel toplantılarda sunulan bildirilerden anlaşılmaktadır. Bu çalışmalarda yapı dolgu malzemesi olarak kullanılan tuğla ve benzeri malzemelerin ısı performans açısından analizi de yer almaktadır. Söz konusu çalışmaları sayısal, deneysel veya her ikisi birlikte yürütülen çalışmalardır. Bu çalışmaların bazılarında mevcut bir ticari tuğlanın analizi yapılmakta ve iyileştirme önerileri sunulmaktadır. Optimizasyona yönelik sayısal çalışmalarda ise daha çok değişik iç bölme tasarımları ile ısı direnci azaltan düzenlemeler belirlemeye çalışılmaktadır.

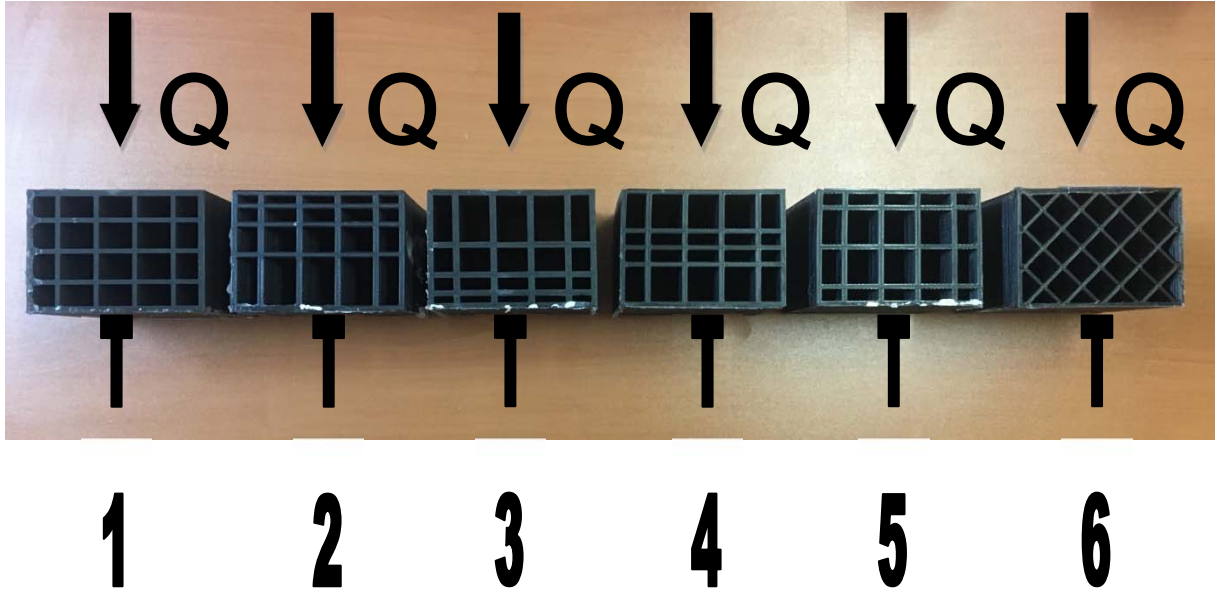
Al-Hazmy [1] çalışmasında tuğla boşluğunu katlanmış levhalarla farklı sayıda üçgen bölümlere ayırarak ısı performans üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Katlanma sayısına ve levha malzemesine göre ısı direncin önemli ölçüde düştüğünü görmüştür. Bölme sayısının 8'den büyük olması durumunda ortalama Nusselt sayısının sıcaklıktan bağımsız duruma geldiği sonucuna varmıştır. Sun v.d. [2] gerçekleştirdiği sayısal optimizasyon çalışmasında optimizasyon için ANN (yapay sinir ağı), HGA (hibrit genetik algoritma) ve popülerleştirme (yaygınlaştırma) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında betondan üretilmiş dört adet boşluklu tuğlada farklı geometrik biçimlendirmelerle ısı geçişini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada ANN ve HGA kombinasyonunun diğer kombinasyonlara göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Morales v.d. [3] sayısal çalışmalarında sonlu elemanlar analizi ile kil kullanılarak üretilmiş tuğlanın eşdeğer ısı geçirgenliğini optimize etmişlerdir. Sıralı boşluklu tuğlanın sıralı boşluk sayısının, tuğla dış yüzeyindeki erkek-dişi oyukların ısı performans üzerine etkisini incelemiştir. Arıcı ve Kan [4] sayısal çalışmalarında, tuğla boşluklarının 45° eğimli düzenlenmesi durumunda ısı direnci analizlerini karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Çalışmalarında boşluk içlerinde ışınım etkilerini de dikkate alarak 45° eğimli durumun tuğlanın toplam ısı direncini arttırdığını ve böylece bina uygulamasında daha düşük yalıtım maliyetleri ortaya koyulacağını savunmuşlardır. Gossard ve Lartigue [5] deneysel ve sayısal çalışma gerçekleştirerek tuğlada iletim, taşınım ve ışınım ile ısı transferini inceleyen bir model önermişlerdir. Önerdikleri modelin, geometrik ve termo-fiziksel parametreleri aynı anda hesaba katarak tuğlanın ısı performansını belirlemesi gibi bir üstünlüğü olduğunu ve bu nedenle de tasarımcılar için bina uygulamalarında iyi bir araç olduğunu iddia etmektedirler. Kan v.d [6] daha önce teorik olarak gerçekleştirdikleri tuğla boşluklarının 45° eğimli düzenlenmesi çalışmalarını deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında tuğla olarak 3B yazıcıdan %50 ölçekte ürünler üretmek suretiyle bina dış duvarını modellemişlerdir. İç ve dış ortamı belirledikleri coğrafi konuma göre ısı olarak şartlandırarak, çalışma sonuçlarının [4]'te belirtilen sonuçlar ile % 3-7 arasında benzerlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır. *Arendt v.d. [7] gerçekleştirdikleri çalışmada tuğladaki boşluk yoğunluğunun eşdeğer ısı iletkenlik yanında zaman gecikmesi (time lag) ve azalma faktörü (decrement factor) gibi dinamik parametreler üzerine olan etkisini de incelemiştir. Yoğunluğunun tek başına yeterli olmadığını, uygunluğun tuğla malzemesi ısı iletkenliğine de bağlı olarak farklılık göstereceğini belirlemiştir. Yüksek ısı iletkenliğe sahip tuğla malzemesinin yüksek oranda boşluk yoğunluğu gerektirdiğini, bunun da pratik olarak uygun olmadığını savunmuşlardır.* Arıcı v.d [8] deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilen çalışmalarda, ardışık olarak eşit boyutlu olmayan

boşluklara sahip tuğlalarda ısı direnci değişen ısı güçleri altında incelemiştir. Çalışmanın sayısal kısmında gerçekleştirdikleri ANSYS-FLUENT analizlerinde boşluklardaki hız ve sıcaklık eğimlerini inceleyerek, deneysel sonuçları desteklemiştir. Çalışma sonucunda şartlanmış ortam komşuluğunda sıkışık düzenlemenin olması durumunda ısı direncinin arttığı tam tersi durumun ise en düşük ısı direncine sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Burada, boşluklu tuğlalar konusunda çok sayıda çalışmadan mevcut bildiri konusuna yakın olan sınırlı sayıda çalışma hakkında özet bilgi sunulmuştur. Boşluklu tuğlalar konusundaki çalışmaları genel olarak, boşlukların değişik yapılandırılması ve boşlukları düşük ısı iletkenliğindeki malzeme ile doldurulması olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu çalışmada, eşit genişlikte olmayan dört farklı ardışık boşluk düzenlemenin (Kaynak [8]) ve yatayla 45° eğimli kare boşluklu düzenlemenin (Kaynak [6]) ısı performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Boşluklu tuğla modellerinde boşluk/katı oranı sabit tutulmuş ve ısı performans karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

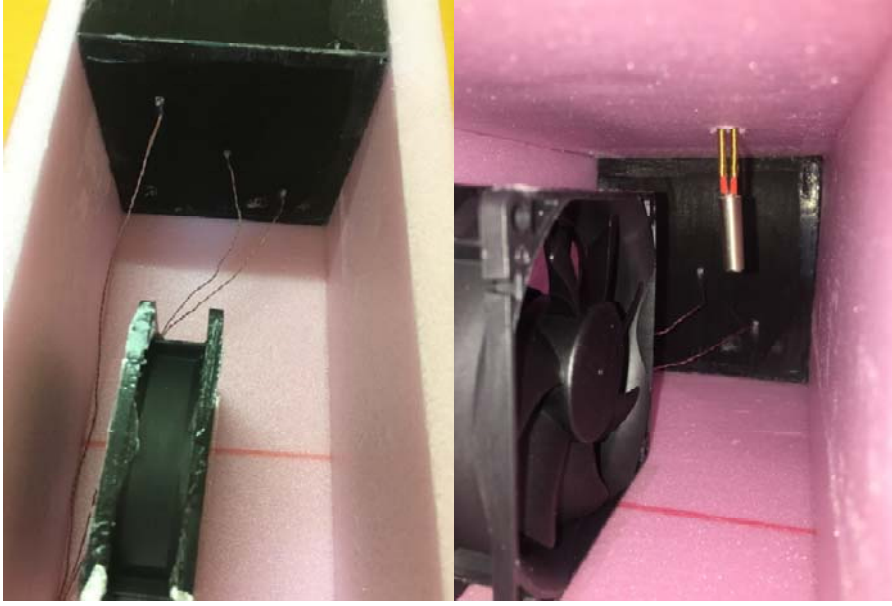
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere ısı transferi doğrultusunda eşit olmayan ardışık boşluklu, 45° eğimli kare boşluklu ve standart boşluklu tuğla modelleri (135*190*190 boyutlarında) Solidworks programı kullanılarak tasarlandı. Elde edilen modeller Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 3B yazıcıda %50 ölçekle PLA malzemeden üretildi. Üretilen yapılara ait görseller Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Tasarlanan tuğla ve standart tuğla modelleri

Deneysel çalışmada, Şekil 1'de görülen 6 adet tuğla modeli yüzeylerine aynı ısı koşulları sağlanmıştır. İç ortam ısı sınır koşulu Şekil 2'de görüldüğü gibi, her bir model için bağımsız odacığa yerleştirilen fişek tipi ısıtıcı ile ısıtılması ve mini bir fanla sıcaklığın düzgün dağılımlı oluşturulması yolu ile sağlanmıştır. Model tuğlaların diğer yüzeyi ise dış ortama, yani laboratuvar koşullarına maruzdur. Model tuğlaların yer aldığı odacıklar birbirinden yalıtım malzemesi yardımı ile ayrılmış durumdadır. Model tuğlalardan oluşan duvar modeli platformu Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 2. İç ortam hacimleri ve ısıtıcıların konumlandırılması.



Şekil 3. Bina dış duvar benzetimi.

Dış ortama olan ısı kayıpları her bir tuğla için, ısı yalıtım plakasının iç ve dış ortama bakmayan yüzeylerinden sadece iletim ile geçtiği kabul edilerek Denklem (1)'e göre hesaplanmıştır.

$$Q_k = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

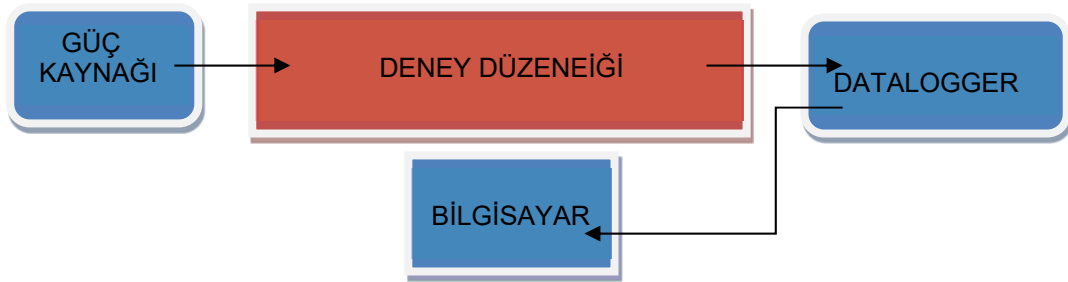
Kayıp ısının belirlenmesi için her bir tuğlanın belirlenen dört ayrı noktasına ve bu noktaların ısı transferi yönünde, geometrik olarak karşılığına gelen ısı yalıtım plakasının dış noktalarından sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 1 numaralı denklemde Δx ısı transferi yönündeki kalınlık 20 mm ve seçilen ısı yalıtım malzemesinin k değeri ise $0,19 \text{ W/mK}$ olarak alınmıştır. Her bir tuğla modelinde dört ayrı yüzeyden bu kayıplar sıcaklıklar ölçülerek hesaplanmış ve tuğla iç ortamından tuğla yüzeyine geçen net ısı miktarı 2 denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_{net} = Q_g - Q_k \quad (2)$$

Tuğlalarda ısı direnç hesabı Ali ve Arshad [9] tarafından çalışmalarında kullanılan ve literatürdeki benzer çalışmalarda kabul edilen bir model olarak benimsenen yöntem kullanılmıştır. Bahsi geçen yöntemde göre, sabit ısı verilen üç boyutlu sistemlerde direnç ya da ısı geçirgenlik hesaplanmak istendiğinde bunun sadece bir yönden geçen ısı ile hesaplanmasının yetersiz olduğu düşünülmüştür. Bunun yerine ısının verildiği yüzeyde oluşan maksimum sıcaklık ile diğer yüzeylerdeki sıcaklıkların aritmetik ortalaması alınarak sıcaklık farkının bulunmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. Bu yaklaşıma göre ısı direnç;

$$R_{es} = \frac{(T_m - T_o)}{Q_{net}''} \quad (3)$$

Denklemi ile hesaplanmakta ve burada m ve o indisleri sırasıyla maksimum ve minimum sıcaklığın olmadığı beş yüzeyin ortalama sıcaklığı kavramlarını sembolize etmektedir. Mevcut çalışmada bu yöntemin kullanılması için sıcaklık ölçümünde uygun olan noktalar belirlendi. Buna göre ısı transferine dik yönde (iç ve dış ortama bakan yüzeylerde) 3'er ve tuğlaların diğer yüzeylerinde 1'er nokta olmak üzere her bir tuğlada 10 bağımsız noktadan sıcaklık ölçülmüştür. Deney yapılan ortam iklimlendirme cihazları yardımıyla sabit sıcaklıkta tutulmaya çalışılmış ve bu durumun tespitini sağlamak adına da ortamın sıcaklık değerleri de deney esnasında sürekli olarak ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri K tipi termoelemanlar kullanılarak bölüm bünyesinde bulunan Keithley marka datalogger vasıtasıyla tamamlanmıştır. Termoelemanların konumları ve sıcaklık ölçüm sistemi ile deney düzeneğini şematik olarak Şekil 4'te ve kurulum olarak Şekil 5'te gösterilmektedir. Yapılan düzenlemelerin ardından oluşturulmuş deney düzeneğinde 5 farklı ısıtıcı gücünde çalışma tekrarlanarak R_{es} değerlerinin sıcaklıkla değişimi incelenmiş ve sonuçlar bulgular ve irdeleme kısmında sunulmuştur.



Şekil 4. Şematik Deney düzeneği



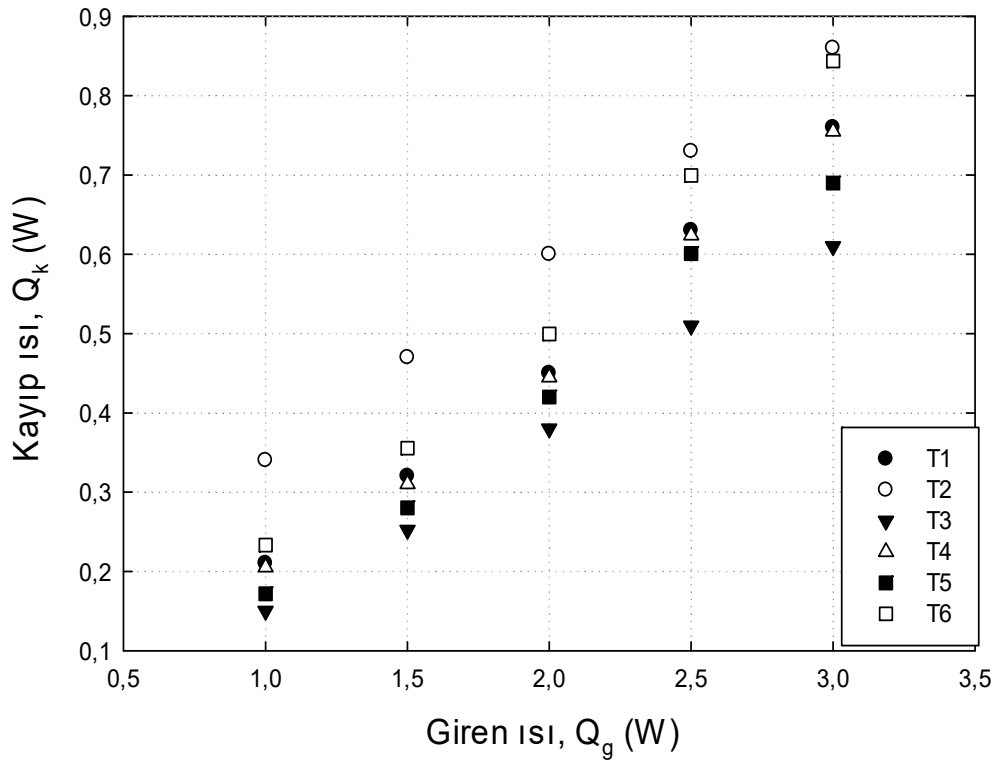
Şekil 5. Deney düzeneği

3. BULGULAR VE İRDELEME

Elde edilen bulgular; kayıp ısı kalibrasyonu, mevcut ve önerilen geometrilerin eşdeğer direnç değerlerinin sıcaklıkla değişimi ve önerilen her bir farklı düzenlemenin standart tuğlaya göre yüzdelik olarak değişim miktarının hesaplanması kısımlarından oluşmaktadır. Hesaplanan veriler her bir ayrı alt başlık altında açıklanmaktadır.

3.1. Kayıp Isı Kalibrasyonu Çalışması

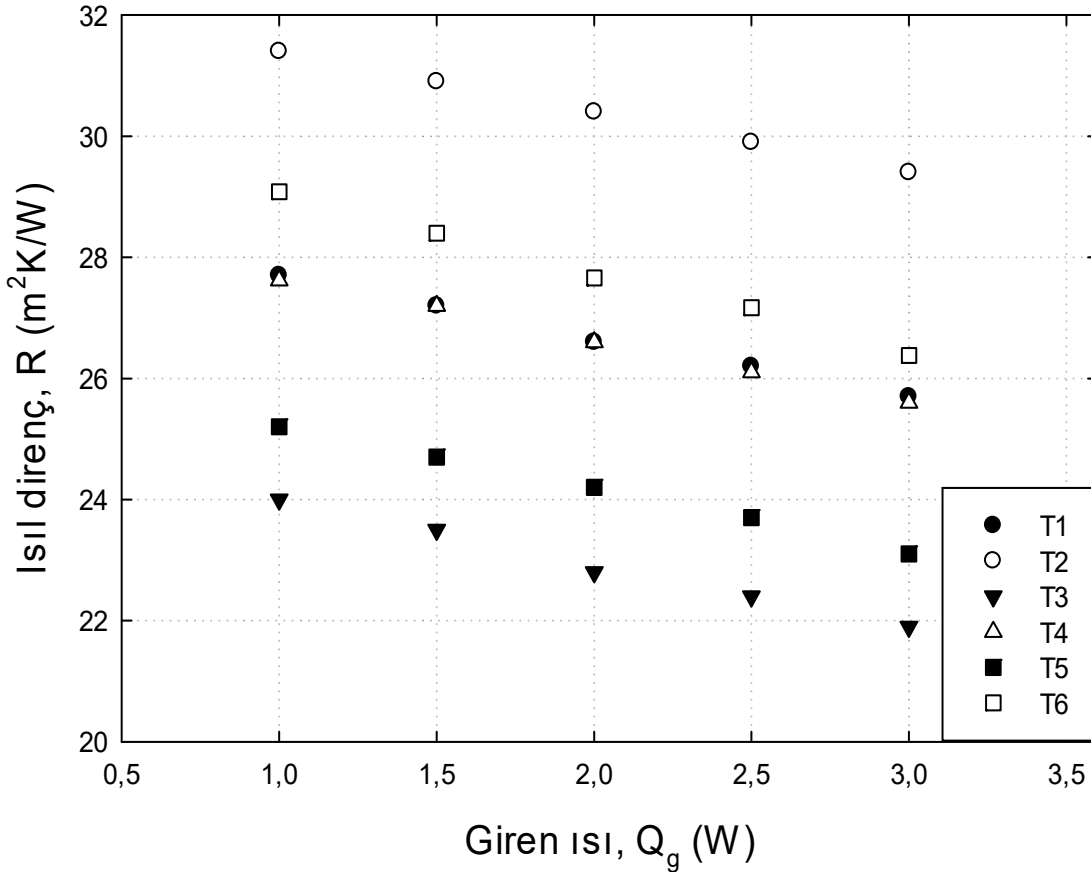
Denklem (3)'den görüldüğü gibi eşdeğer direnç hesabı için tuğladan transfer olan net ısının bilinmesi gerekmektedir. Denklem (3)'e göre net ısının hesaplanması için giren ısı Q_g ve kayıp ısı Q_k değerleri deneysel olarak elde edilip Şekil 6'daki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 6. T1, T2, T3, T4, T5 ve T6 durumları için kayıp ısı kalibrasyonu.

3.2. Eşdeğer Isıl Direncin T1, T2, T3, T4, T5 ve T6 Durumları İçin İncelenmesi

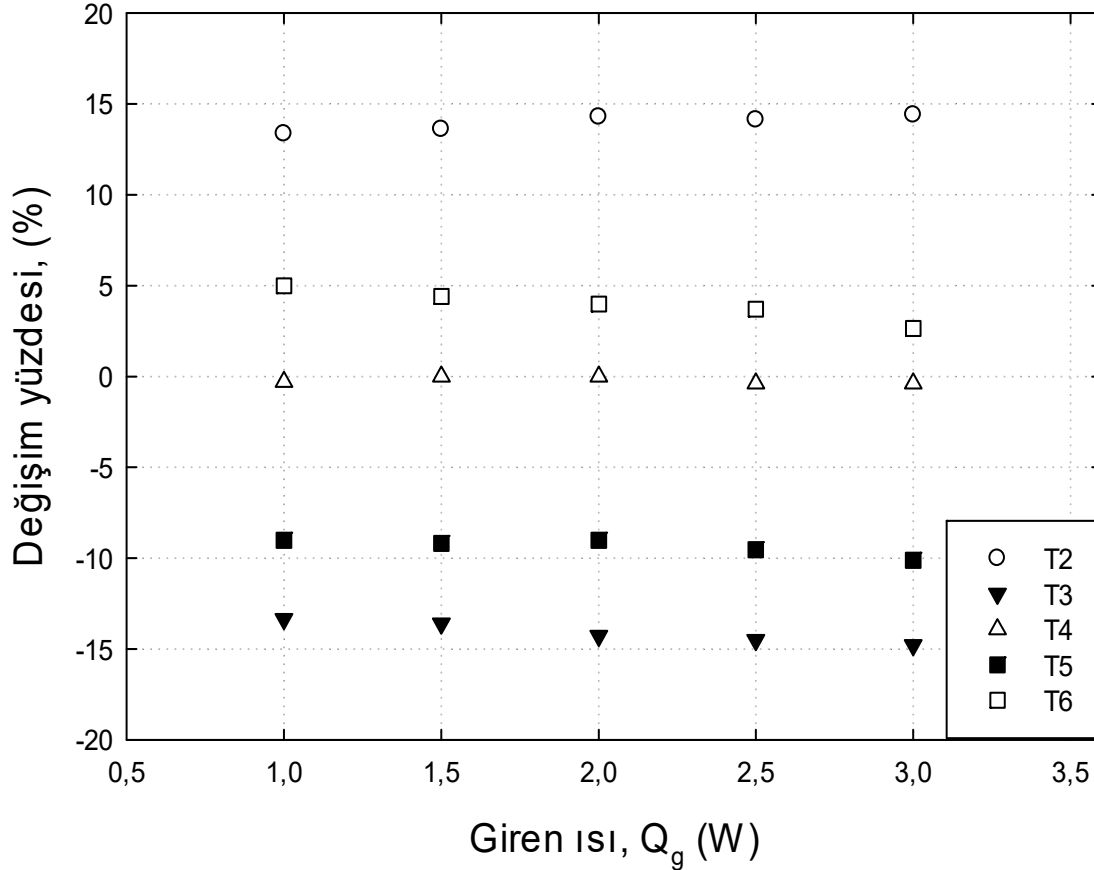
Şekil 1'de fotoğrafları görülen 6 farklı tip boşluk düzenindeki tuğlaların tamamında artan ısı miktarı ile ısı direncin azaldığı Şekil 7'de görülmektedir. Eşdeğer direnç değerleri her boşluk düzenlemesi için farklı, ancak azalma eğilimleri standart boşluklu tuğla dahil olmak üzere benzer karakterdedir. Bu durum boşluk düzenlemesinin eşdeğer ısı direnç üzerindeki etkisini belirgin olarak göstermektedir. Bunun mevcut deneysel çalışmadaki anlamı, düzenekte iç ortam olarak tanımlanan iç odacıklara fişek tipi ısıtıcılarla verilen ısı miktarının artışı ile tuğla eşdeğer ısı direncinin azalmasıdır. Uygulamadaki karşılığı ise, düşen dış ortam sıcaklığı nedeni ile istenilen iç ortam sıcaklığına ulaşmak için ısı kaynağının sağlanması gereken ısının artması ve bu artış nedeni ile de tuğla ısı direncinin azalmasıdır. Bu durumun Denklem (3) üzerinden değerlendirilmesi ise iç ortama sağlanan ısı miktarı artışı oranının bu artıştan kaynaklanan sıcaklık farkı artış oranından daha yüksek olması şeklindedir. Sağlanan ısı aynı zamanda tuğla boyunca transfer olan ısı olduğu için, ısı arış oranının sıcaklık artış oranından yüksek olması, boşluklarda doğal taşınımın güçlenerek taşınım direncinin azaltması anlamına gelmektedir. Bu mekanizmanın ayrıntılar konu ile ilgili analitik ve sayısal çalışmalarla temellendirilerek güçlendirilebilir. Boşluk genişliğinin ısı transferi yönünde arttığı ardışık boşluklu T2 tuğlasında en yüksek eşdeğer ısı direnç artışı elde edilmiştir. Eşdeğer ısı direnç artışında T2 tuğlasını 45° eğimli dikdörtgen boşluklu T6 tuğlası izlemektedir. T2 tuğlasının tam tersi boşluk düzenindeki T3 tuğlası, yani ardışık boşlukları ısı transferi yönünde azalan tuğlanın ısı direnci standart tuğlanın da altında kalarak en düşük ısı direnci göstermektedir. Bunu, yine standart tuğla ısı direncinin altında kalarak T5 tuğlası, yani geniş boşlukların ortada ve dar boşlukların yüzeyler tarafında bulunduğu tuğla izlemektedir. Standart boşluklu tuğla ile yaklaşık aynı ısı dirence sahip tuğla tipi T4 tuğlası, yani ardışık dar boşlukların ortada ve geniş boşlukların yüzeyler tarafında bulunduğu tuğladır.



Şekil 7. T1, T2, T3, T4, T5 ve T6 durumları için eşdeğer ısı direncin ısı güç ile değişimi.

3.2. Eşdeğer Isıl Direncin Farklı Tasarımlarda T1 Durumuna Göre Yüzdeler Artış İlişkisi

Farklı tip boşluklara sahip tuğla eşdeğer dirençlerinin standart boşluklu tuğlaya göre (T1 tuğlası) yüzdeler değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Çalışmanın gerçekleştirildiği ısı güç aralığında T2 ve T6 tuğlaları yani soğuk yüzeye doğru genişleyen ardışık boşluklu ve 45° eğimli kare boşluklu tuğlaların ısı direnci standart boşluklu tuğla direnci değerinden yüksek çıkmaktadır. T4 tuğlasının, yani ardışık dar boşlukların ortada geniş boşlukların ise her iki yanda olan tuğla tipinin ısı direnci ise standart tuğla ısı direncine yakın çıkmaktadır.



Şekil 8. T2, T3, T4, T5 ve T6 durumlarının T1 durumuna değişim yüzdesi

SONUÇ

İki farklı tuğla boşluğu düzenlemesinin ısı direnç üzerine etkisi incelenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

1. Farklı düzendeki tuğla iç boşluklarının standart boşluklu tuğlaya göre eşdeğer ısı dirençte hem artma hem de azalma yönünde %15'lere varan değişikliğe (hem azalma ve artma yönünde) neden olmaktadır.
2. Isı transferi yönünde genişleyen ardışık boşluklu düzenleme ısı dirençte en fazla artışa, bunun tam tersi durum ise ısı dirençte en fazla azalmaya neden olmaktadır.
3. En yüksek ısı direnç sağlayan düzenlemede standart boşluklu tuğlaya göre artış %15 civarında iken 45° eğimli kare boşluklu tuğlada bu oran %5'lerde kalmaktadır



4. Deneysel sonuçların, gerçekleştirilecek bir sayısal çalışma sonuçları ile karşılaştırılması yararlı olacaktır.
5. Ürün tasarımcılarına daha gerçekçi bulgular sunabilmek için çalışmanın ½ ölçekte PLA malzeme yerine birebir ölçekte ve gerçek tuğla malzemesinden üretilen modellerle gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] AL-HAZMY M. M., 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.
- [2] JIAPENG S., LIANG F., JING H., Optimization of concrete hollow brick using hybrid genetic algorithm combining with artificial neural networks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 5509-5518, 2010.
- [3] MORALES M.P., JUARES M. C., LOPEZ-OCHOA L. M AND DOMENEC J., Study of the geometry of a voided clay brick using rectangular perforations to optimize its thermal properties, *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, pp. 2063-2065, 2011.
- [4] ARICI M.E. ve KAN F.E., A Numerical Investigation of Tilted Holes Effects on Overall Thermal Resistance for a Masonry Brick, 13th HVAC+R Technologies Symposium, İstanbul, 19-25, 2018.
- [5] GOSSARD D. ve LARTIGUE B., Three-dimensional conjugate heat transfer in partitioned enclosures: Determination of geometrical and thermal properties by an inverse method, *Applied Thermal Engineering*, vol. 54, pp. 549-558, 2013.
- [6] KAN F.E., ARICI M. E., ALHABACH M., ABDELMAKSOU M., 45° Eğik Boşluklara Sahip Yapı Tuğlalarının Isıl Performansı, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1951-1961, 2019.
- [7] ARENDT K., KRZACZEK M. ve FLORCZUK J., Numerical analysis by FEM and analytical study of the dynamic thermal behavior of hollow bricks with different cavity concentration, *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 50, pp. 1543-1553, 2011.
- [8] ARICI M.E., KAN F.E., CANDEMİR A.İ., ÖZKAN E., Eşit Boyutlu Olmayan Ardişik boşluklara Sahip Bir Tuğlada Isı Transferi, 22nd Congress on Thermal Science and Technology, Kocaeli, 309-3019, 2019.
- [9] H.M. Ali, A. Arshad, Experimental investigation of n-eicosane based circular pin-fin heat sinks for passive cooling of electronic devices, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 112, pp. 649-661, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Furkan Erman KAN

1988 yılı Bakırköy/İstanbul doğumludur. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Özel bir kuruluştaki makina mühendisi olarak çalıştı. 2016 yılında KTÜ'de yüksek lisansını tamamladı. KTÜ'de doktorasını sürdürmekte olup araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Mehmet Emin ARICI

1959 Of/Trabzon doğumludur. 1982 yılında KTÜ Makina-Elektrik Fakültesi Makina Bölümünü bitirdi. 1984 yılında KTÜ'de araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 1985'te KTÜ'de yüksek lisansını, 1993'te ABD'de Texas Tech University'de doktorasını tamamladı. KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda profesör olarak görev yapmaktadır.