



**BİNA DUVARLARINA UYGULANAN YALITIMIN FARKLI
KONUMLARININ ISI KAZANÇ VE KAYIPLARINA OLAN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

***(AN INVESTIGATION FOR THE EFFECT OF DIFFERENT POSITIONS
OF INSULATION APPLYING BUILDING WALLS
ON THE HEAT GAIN AND LOSSES)***

Meral ÖZEL*, Kâzım PIHTILI*

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, bina duvarlarına uygulanan yalıtımın duvar içerisindeki 5 farklı konumlandırma durumu için ısı akısının değişimi sayısal olarak araştırılmış ve yazın ısı kazancını, kışın ise ısı kaybını minimum yapacak yalıtım durumu tespit edilmiştir. Bu amaçla, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılan ve iç yüzeyinde de sabit sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan çok katmanlı duvarlar için bir boyutlu zamana bağlı ısı iletim denklemi implicit sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

In this study, variation of heat flux for 5 different positions of insulation applying building walls has been investigated numerically in the summer and winter climate conditions and, insulation case for minimizing heat gain in summer and heat loss in winter was obtained. For this purpose, one-dimensional transient heat conduction equation was solved by using implicit finite difference scheme for multilayer wall which is exposed to periodic solar radiation and outdoor environment temperature on outside and is in contact with room air at constant temperature on inside. the results obtained were presented as graphics.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Bina duvarı, Yalıtım konumu, Isı kazanç ve kaybı, sıcaklık

Building wall, Insulation position, Heat gain and loss, Temperature

1. GİRİŞ

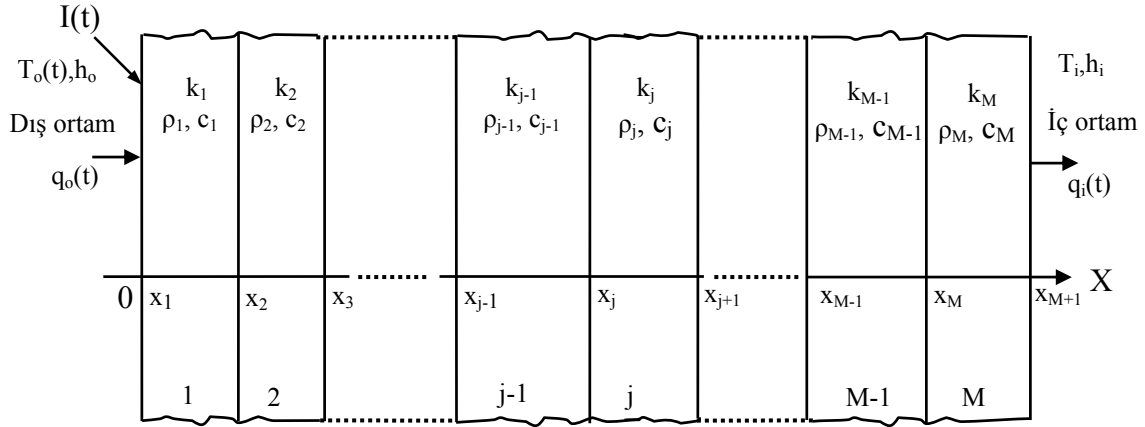
Bina kabuğu, enerji korunumunda etkili olan önemli tasarım değişkenlerinden biridir ve binalarda iklimsel konforu yılın her döneminde sağlamak oldukça önemlidir. Enerji korunumunu ekonomik olarak gerçekleştirmek için, yapıları optimum performans gösteren pasif ısıtma sistemleri olarak tasarlamak gerekir. Bunun için çeşitli yöntemler mevcuttur ve bunlardan biriside bina elemanlarına yalıtım uygulanmasıdır. Türkiye de tüketilen enerjinin önemli bir bölümü binaların ısıtılması için harcanmaktadır. Bu nedenle aktif ısıtmada kullanılan enerji kaynaklarının gereksiz ve aşırı kullanımı, maliyeti artırarak ülke ekonomisine olumsuz etki yapmakta ve bu kaynakların giderek azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca dış çevreye atılan atıklar nedeniyle artan hava, toprak ve su kirliliği insan sağlığına büyük ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenlerden dolayı, yapılarda ısı yalıtımı kullanarak enerji tasarrufunu gerçekleştirmek zorunludur.

Yalıtım endüstrisinde, ısı yalıtım malzemeleri farklı kalınlıklara sahip levhalar halinde üretilmektedir. Bilindiği gibi yalıtım, genellikle tek tabaka halinde bina duvarlarının dış yüzeyine, ortasına veya iç yüzeyine uygulanmaktadır. Ancak son zamanlarda yalıtım üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı performans açısından daha verimli duvarlar yapmak amacıyla, yalıtım tabakası özellikle tek veya iki tabaka halinde duvar içerisinde belirli yerlere yerleştirilerek ısı hesapları yapılmıştır. Bu konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, yalıtım tabakası duvarın değişik yerlerine tek parça ve iki parça olarak yerleştirilmiş ve optimum yalıtımın yeri maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı açısından incelenmiştir (Asan, 2000). Fourier dönüşümleri kullanılarak bir boyutlu ısı iletim denkleminin çözümü, bir veya iki katmanlı duvarlara uygulanmıştır. Ana duvar kütlelerinin iç tarafına veya dış tarafına yalıtımı yerleştirmenin avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır (Sodregger, 1977). Duvar yüzey sıcaklığının geniş bir aralıkta dalgalandığı mahaller için, yalıtımın iç veya dış tarafta konumlandırma durumları ele alınarak, yalıtım duvarın dış tarafına yerleştirmenin iç ortam sıcaklık salınımlarını azalttığı, ısı gerilmeleri önlediği ve enerji tüketimini azalttığı belirtilmiştir (Abdelrahman ve Ahmad, 1991). Üç katmanlı (yalıtım-beton-yalıtım) bir çatıda, periyodik ısı geçişi analitik olarak incelenmiş ve iç ile dış taraf için verilen toplam yalıtım kalınlığının iki taraf arasındaki en uygun dağılımı araştırılmıştır (Sodha vd., 1997). Ayrıca, yalıtılmış ve yalıtılmamış binaların çatı ve duvarlarının ısı davranışı deneysel metotla araştırılarak, yalıtılmış ev modelinin yalıtılmamış olandan daha çok ömre sahip olduğu ve daha küçük çatlaklar oluştuğu gösterilmiştir (İbrahim, 1986). Son olarak da, duvarın dış yüzeyinde, iç yüzeyinde ve ortasında yalıtım bulunan üç tip yalıtımlı duvar boyunca ısı transferinin geçici etkileri araştırılmıştır (Al-Regib ve Zubair, 1994).

Bu çalışmada ise, esas olarak yaz ve kış şartlarında binaların opak elemanları olan duvarlardaki ısı yüklerini optimum düzeyde tutacak etkin pasif yöntemlerden biri olan yalıtımdan maksimum şekilde faydalanmak amaçlanmıştır. Bunun için beş farklı yalıtım konumlandırma durumu ele alınarak, iç ortamın dış sıcaklık dalgalanmalarından en az etkileneceği yalıtım durumu, ısı kazanç ve kayıplarına göre belirlenmiştir.

2. MATEMATİKSEL METOD

Bu çalışmada, ısı konforu ve enerji tüketimi açısından, bina duvarlarının farklı yerlerine yalıtım uygulanarak, binalarda minimum tutulması gereken ısı kayıp ve kazançlarını tespit etmek amacıyla, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılan ve iç yüzeyinde de, sabit sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan çok katmanlı bir duvar yapısı model olarak alınmıştır.



Şekil 1. Çok katmanlı duvarlarda ısı iletimi

Şekil 1’de gösterildiği gibi mükemmel ısıl temastaki M paralel katmandan oluşan çok katmanlı bir duvardaki zamana bağlı bir boyutlu ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$r_j c_j \frac{\partial T_j(x,t)}{\partial t} = k_j \frac{\partial^2 T_j(x,t)}{\partial x^2}, \quad x_j \leq x \leq x_{j+1}, \quad t > 0, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

Burada x ve t sırasıyla konum ve zaman koordinatlarıdır. $T_j(x,t)$ sıcaklık, ρ_j , c_j ve k_j sırasıyla j nci katmanın yoğunluğu, özgül ısı ve ısıl iletkenliğidir. x_j , x_{j+1} j nci katman yüzeylerinin koordinatlarını göstermektedir. Katmanlar arasındaki ısıl temas için aşağıdaki ifadeler geçerlidir (Antonopoulos vd., 1996).

$$T_j(x,t) = T_{j+1}(x,t), \quad x = x_{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots, (M-1), \quad t > 0 \quad (2)$$

$$k_j \frac{\partial T_j(x,t)}{\partial x} = k_{j+1} \frac{\partial T_{j+1}(x,t)}{\partial x}, \quad x = x_{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots, (M-1), \quad t > 0 \quad (3)$$

Dış ve iç duvar yüzeylerindeki taşınım sınır şartları ile başlangıç şartı ise sırasıyla,

$$q_o(t) = -k_1 \frac{\partial T_1(x,t)}{\partial x} = h_o [T_e(t) - T_1(x,t)], \quad x = x_1, \quad t > 0 \quad (4)$$

$$q_i(t) = -k_M \frac{\partial T_M(x,t)}{\partial x} = h_i [T_M(x,t) - T_i], \quad x = x_{M+1}, \quad t > 0 \quad (5)$$

$$T_j(x,t) = F_j(x), \quad x_j \leq x \leq x_{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad t = 0 \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada h_o ve h_i sırasıyla yapının dış ve iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayılarıdır. T_i iç ortam sıcaklığı ve F_j ise başlangıç sıcaklığıdır. T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış hava sıcaklığıyla güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup aşağıdaki şekilde yazılmaktadır (Threlkeld, 1998).

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{a.I(t)}{h_o} - \frac{e.\Delta R}{h_o} \quad (7)$$

Burada T_o dış hava sıcaklığı, a ve I sırasıyla dış taraf yüzeyinin yutma oranını ve toplam güneş ışınımı şiddetini göstermektedir. $e.\Delta R/h_o$ ise uzun dalga ışınım için düzeltme faktörü olup yatay yüzeyler için 4°C ve dik yüzeyler için de 0°C olarak kabul edilmiştir (Threlkeld, 1998). Eşitlik 7'deki toplam güneş ışınımı şideti (I) ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$I = R_d I_d + I_y \frac{1 + \cos \Sigma}{2} + I_a r_y \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \quad (8)$$

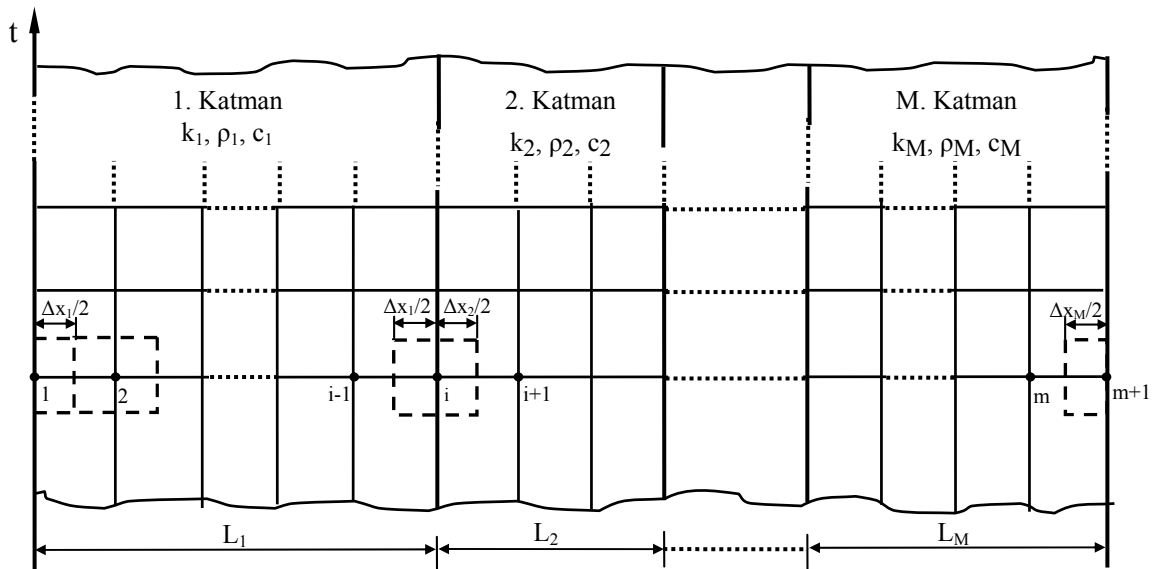
ve

$$R_d = \frac{\cos q}{\cos q_z} \quad (9)$$

I_d , I_y ve I_a sırasıyla direk, yayılı ve yansıyan güneş ışınımı şiddetleridir. Σ eğim açısıdır ve dik bir duvar için 90° dir. r_y çevrenin yansıtma oranı olup 0.2 olarak seçilmiştir. q ve q_z ise sırasıyla güneşin yüzeye geliş açısı ve zenit açısıdır. Buradaki açıların hesap yöntemleri ayrıntılı olarak mevcuttur (Kılıç ve Öztürk, 1983).

3. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Diferansiyel denklemin sonlu farklarla çözülebilmesi için çok katmanlı duvar Şekil 2'deki gibi her katman kendi içerisinde eşit düğümlere ayrıştırılarak bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Daha sonra ise diferansiyel denklem kontrol hacim üzerinden entegre edilerek sonlu fark denklemleri implicit yöntem ile sırasıyla dış yüzeydeki sınır düğümü, katman içi düğüm, ara yüzey düğümü ile iç yüzeydeki sınır düğüm noktaları için türetilerek aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir:



Şekil 2. Çok katmanlı yapı elemanındaki düğüm noktalarından oluşan ağ yapısı

$$T_1^n + (2I_1 \frac{h_o \Delta x_1}{k_1}) T_e = (1 + 2I_1 + 2I_1 \frac{h_o \Delta x_1}{k_1}) T_1^{n+1} - 2I_1 T_2^{n+1}, \quad (10)$$

$$T_i^n = -I_j T_{i-1}^{n+1} + (1 + 2I_j) T_i^{n+1} - I_j T_{i+1}^{n+1}, \quad (11)$$

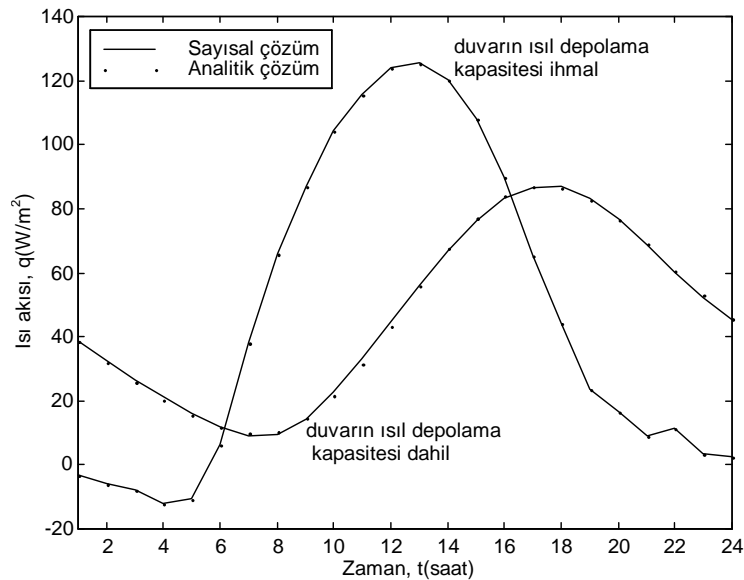
$$AT_i^n = -\frac{k_j}{\Delta x_j} T_{i-1}^{n+1} + (\frac{k_j}{\Delta x_j} + \frac{k_{j+1}}{\Delta x_{j+1}} + A) T_i^{n+1} - \frac{k_{j+1}}{\Delta x_{j+1}} T_{i+1}^{n+1}, \quad (12)$$

burada $A = (r_j c_j \Delta x_j + r_{j+1} c_{j+1} \Delta x_{j+1}) / 2\Delta t$ şeklinde tanımlanıyor

$$T_{m+1}^n + (2I_M \frac{h_i \Delta x_M}{k_M}) T_i = -2I_M T_m^{n+1} + (1 + 2I_M + 2I_M \frac{h_i \Delta x_M}{k_M}) T_{m+1}^{n+1} \quad (13)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan $I_j = a_j \cdot \Delta t / (\Delta x_j)^2$, ($j = 1, 2, \dots, M$) şeklinde tanımlanır ve bu ifadedeki (a_j) j nci katmanı oluşturan yapı elemanının ısı yayılım katsayısı olup $a_j = k_j / (r_j \cdot c_j)$ şeklinde ifade edilmektedir.

Bütün düğüm noktalarındaki sıcaklıkların bulunması için komple çözüm göz önüne alındığında, lineer cebirsel eşitliklerden oluşan bir denklem takımının çözülmesi gerekir. Yukarıdaki cebirsel denklem takımı, bir çok kaynakta mevcut olan üç köşegenli bant matris algoritması (TDMA algoritması) alt programları ile çözülebilir. Ancak bu çalışmada MATLAB'de matris fonksiyonları kullanılarak çözülmüş ve yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı, geliştirilen bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Duvarın iç yüzey sıcaklığı bulunduktan sonra yaz ve kış şartları için ısı akıları hesaplanmış olur. Programda, yapı elemanının aynı eşdeğer sıcaklık değişimine her periyot sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak ısı akısı değişiminin sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır.



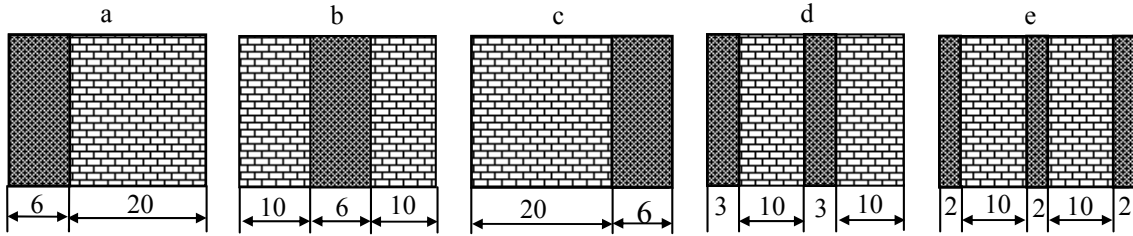
Şekil 3. Isı akısının sayısal çözümü ile analitik çözümünün karşılaştırılması

Implicit sonlu farklarla yapılan sayısal çözümün doğruluğunun belirlenmesi için tek katmanlı yapı elemanının ısı akısı değişimleri hem bu çalışmada yapılan sayısal çözüm ile

hem de analitik olarak çözümünü mevcut olan harmonik analiz yöntemi ile çözülmüştür (Threlkeld, 1998). Her iki sonuç, Şekil 3’de ısı depolaması olan ve olmayan duvar için karşılaştırılmıştır. Sayısal çözüm ile analitik çözümün oldukça iyi bir uyum sağladığı şekilden görülmektedir.

4. BİNA DUVARLARINA UYGULANAN YALITIMIN FARKLI KONUMLARININ ANALİZİ

Soğutma ve ısıtma yüklerinin oldukça büyük olduğu bölgelerde dış duvarların kalınlığı boyunca geçen ısıyı minimum yapmak için etkin yalıtım durumunu belirlemek amacıyla aşağıdaki Şekil 4’de görüldüğü gibi 5 farklı yalıtım durumu belirlenmiştir. Bunun için toplam 6 cm kalınlığındaki yalıtım tabakası 20 cm kalınlığındaki duvarın değişik yerlerine tek parça (6 cm), iki eşit parça (her biri 3 cm) ve üç eşit parça (her biri 2 cm) olarak yerleştirilerek, MATLAB’de hazırlanan program yardımıyla yaz ve kış şartlarında 5 farklı yalıtım durumu için ısı kazanç ve kayıpları hesaplanmıştır



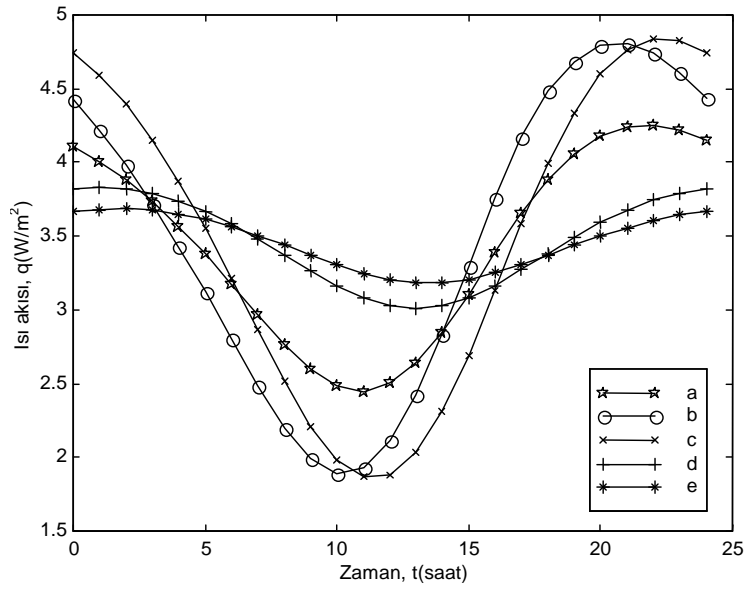
Şekil 4. Duvar içindeki beş farklı yalıtım konumlandırma durumları(a: yalıtım dış yüzeyde, b: ortada, c: iç yüzeyde, d: yarı dış yüzeyde yarı ortada, e: yalıtımın bir parçası iç yüzeyde diğer parçası ortada ve üçüncü parçası da dış yüzeyde).

Bu çalışmada, duvar malzemesi olarak 20 cm kalınlığında tuğla ($k=0.64$ W/m-K, $\rho=1800$ kg/m³, $c=840$ J/kg-K), yalıtım malzemesi olarak da toplam 6 cm kalınlığında cam yünü ($k=0.036$ W/m-K, $\rho=105$ kg/m³, $c=795$ J/kg-K) seçilmiştir. Hesaplamalar Elazığ’da yazın en sıcak günlerinden biri olan 15 Temmuz’da ve 23 °C sabit iç ortam sıcaklığında ve kışın en soğuk günlerinden biri olan 15 Ocak’ta 20 °C sabit iç ortam sıcaklığı için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları 15 Temmuz ve 15 Ocak için meteorolojiden 2002 yılından itibaren geriye doğru altı yılın ortalaması alınmıştır. Opak yapının yutma oranı $a=0.9$, içteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla $h_i=6$ W/m²K ve $h_o=22$ W/m²K olarak alınmıştır. Duvar yönünün ise güneye baktığı kabul edilmiştir.

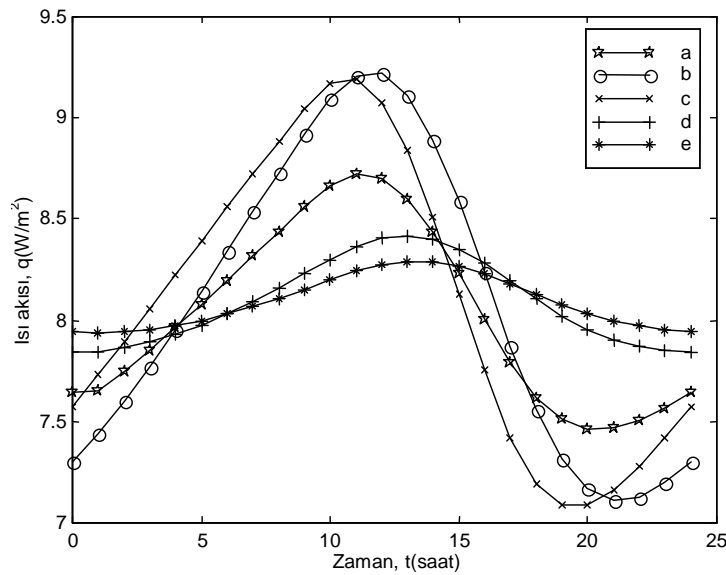
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yukarıda verilen yalıtım konumları için sayısal çözüm yapılarak MATLAB’da geliştirilen program yardımıyla elde edilen sonuçlar grafiklere aktarılarak aşağıda izah edilmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6’da sırasıyla yaz ve kış şartlarında güneye bakan bir duvarda beş farklı yalıtım konumlandırma durumları için ısı akılarının zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8’de ise yine sırasıyla yaz ve kış şartlarında yalıtımlı ve yalıtımsız duvar için ısı akılarının zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Son olarak da Şekil 9 ve Şekil 10’da yaz şartlarında sırasıyla yalıtımsız duvar ile yalıtımlı (içte, dışta ve ortada yalıtım olması durumu) duvarın kalınlığı boyunca zamana göre sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.

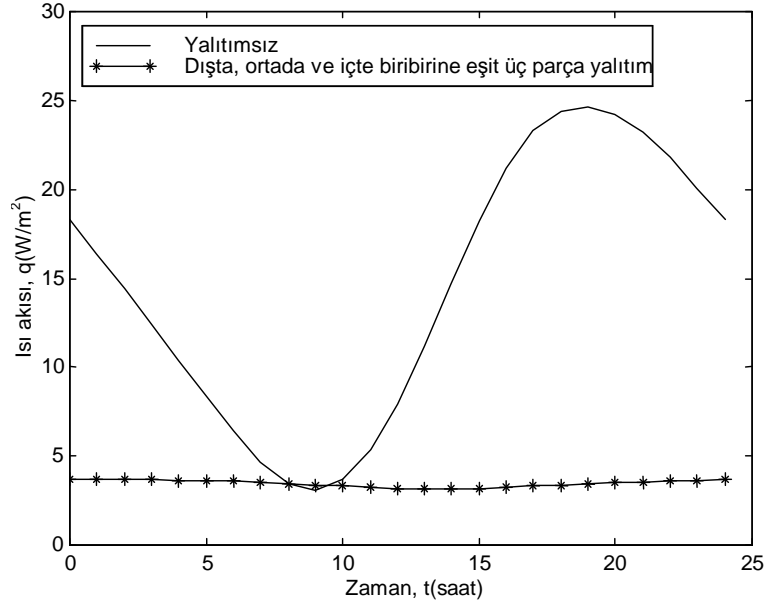


Şekil 5. 15 Temmuz'da güneye bakan tuğla duvar içerisinde camyünü yalıtım malzemesinin farklı konumlandırma durumları için zamana göre ısı akısının değişimi

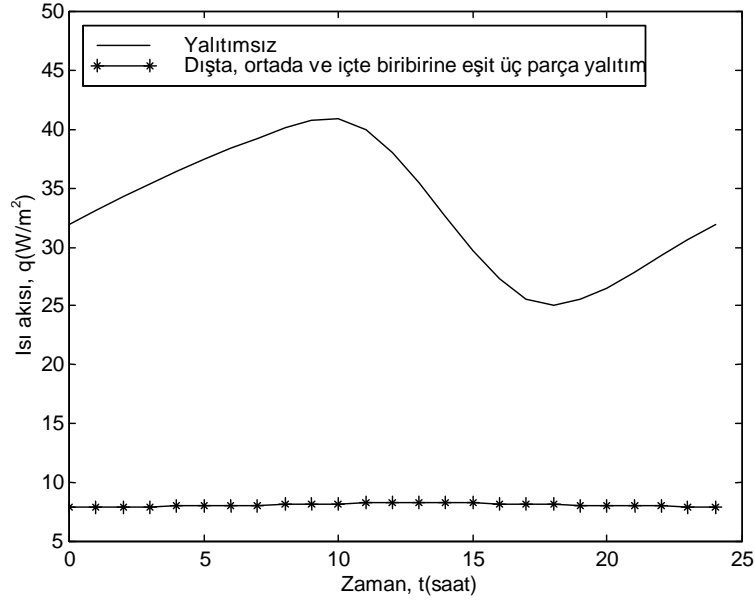


Şekil 6. 15 Ocak'ta güneye bakan tuğla duvar içerisinde camyünü yalıtım malzemesinin farklı konumlandırma durumları için zamana göre ısı akısının değişimi

Yapılan bu inceleme sonunda, Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi yaz ve kış şartlarında, hem ısı kazancı hem de ısı kaybı açısından en iyi konumlandırma durumu üç parça yalıtım konumlandırma durumu olan birbirine eşit üç parça yalıtımın içte, ortada ve dışta olması durumunda görülmüştür. İkinci olarak da iyi bir durumun, iki parça yalıtım konumlandırma durumu olan birbirine eşit iki parça yalıtımın yarısı dış yüzeyde diğer yarısı ise ortada yerleştirilmesi halinde elde edilmiştir. En kötü durumların ise yalıtımı bir bütün olarak, ortada ve iç yüzeyde yerleştirilmesi durumunda elde edilmiştir. Ayrıca, yalıtımı bir bütün olarak dış yüzeyde yerleştirme durumunun ortada ve iç yüzeyde yerleştirme durumuna göre daha iyi olduğu da görülmüştür.

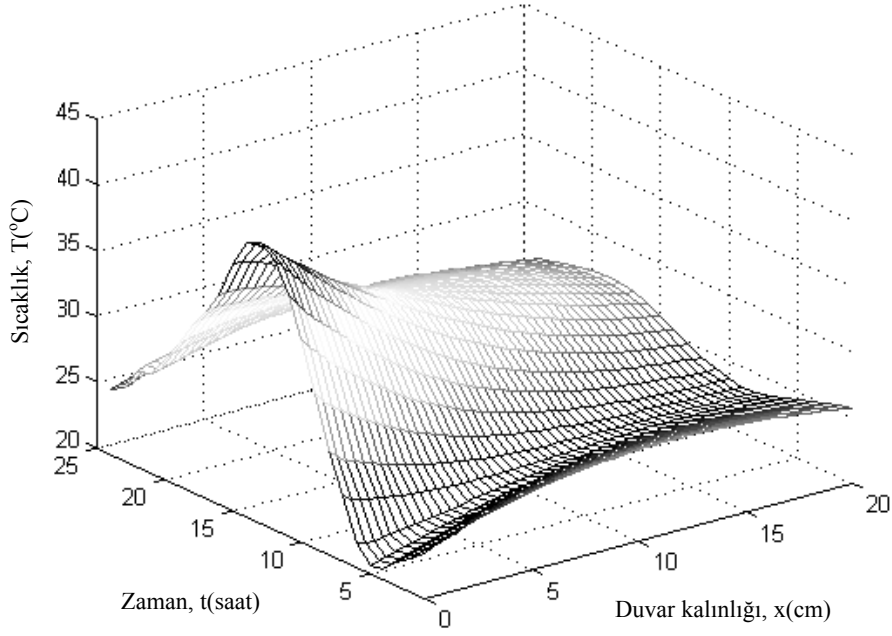


Şekil 7. 15 Temmuz'da güneye bakan 20 cm kalınlığında yalıtımsız tuğla duvar ile 6 cm (2+2+2) kalınlığında camyünü yalıtımlı tuğla duvar (Şek. 4-e) için zamana göre ısı akısının değişimi

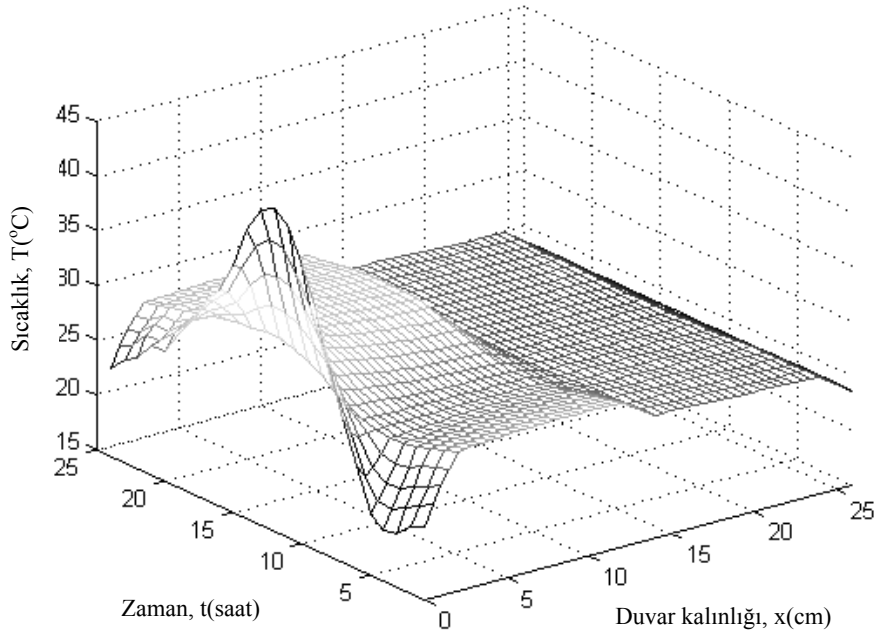


Şekil 8. 15 Ocak'ta güneye bakan 20 cm kalınlığında yalıtımsız tuğla duvar ile toplam 6 cm (2+2+2) kalınlığında camyünü yalıtımlı tuğla duvar (Şek. 4-e) için zamana göre ısı akısının değişimi

Yaz ve kış iklim şartlarında yalıtımsız duvar ile dışta, ortada ve içte biri birine eşit üç parça yalıtımlı duvar için ısı akılarının zamana göre değişimleri incelendiğinde (Şek. 7 ve Şekil 8), duvara üç parça yalıtım eklenerek neredeyse sabit bir ısı akısı elde edilmekte ve ısı akısının miktarı azalmaktadır. Ayrıca duvarlara yalıtım uygulamanın kışın ısı kaybını azaltması bakımından daha önemli olduğu görülmüştür. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları da incelenecek olursa üç parça yalıtım eklenerek neredeyse sabit iç duvar sıcaklığının elde edildiği Şekil 10'dan görülmektedir. Bu da iç ortamın neredeyse tamamen dış sıcaklık dalgalanmalarından etkilenmediği, yani konforlu iç ortam sıcaklığının elde edildiğini göstermekte olup önemli bir sonuç olarak görülmektedir.



Şekil 9. 15 Temmuz'da güneye bakan 20 cm kalınlığında yalıtımsız tuğla duvarın kalınlığı boyunca zamana göre sıcaklık dağılımı



Şekil 10. 15 Temmuz'da güneye bakan 20 cm tuğla duvarın iç tarafında, ortasında ve dış tarafında her biri 2 cm kalınlığında camyünü yalıtımlı tuğla duvarın (Şek. 4-e) kalınlığı boyunca zamana göre sıcaklık dağılımı

KAYNAKLAR

- Asan, H. (2000): "Investigation of Wall's Optimum Insulation Position From Maximum Time Lag and Minimum Decrement Factor Point of View", *Energy And Buildings*, 32, pp. 197-203.
- Soderegger, R.C. (1977): "Harmonic Analysis of Building Thermal Response Applied to The Optimal Location of Insulation within the Walls", *Energy and Buildings*, 1, pp. 131-140.
- Abdelrahman, M.A. and Ahmad, A. (1991): "Cost-Effective Use of Thermal Insulation in Hot Climates, Building and Environment", 26, 2, pp. 189-194.
- Sodha, M.S, Kaushik, S.C., Tiwari, G.N., Goyal, I.C., Malik, M.A.S., Khattry, A.K. (1997): "Optimum Distribution of Insulation Inside and Outside The Roof", *Building and Environment*, 14, pp. 47-52.
- İbrahim, S.M.A. (1986): "The Thermal Behavior of Thermally Insulated and Uninsulated Buildings", *Energy*, Vol. 12, No. 7, PP 615-622.
- Al-Regib, E. and Zubair, S.M., *Transient Through Insulated Walls*, *Energy*, Vol. 20, No.7, pp. 687-694, 1995.
- Antonopoulos, K.A. and Vrachopoulos, M. (1996): "On-Site Experimental Estimation of Thermal Conductivities and Heat Capacities in Multilayer Walls Under Arbitrary Transient Conditions Using Explicit and Implicit Finite Difference Schemes", *International Journal of Energy Research*, Vol.20, pp. 17-32.
- Threlkeld, J.L. (1998): "Thermal Environmental Eng.", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Patankar, S.V. (1980): "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Co., USA.
- Kılıç, A. ve Öztürk, A. (1983): "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- Özışık, M.N. (1994): "Finite Difference Methods in Heat Transfer", CRC Press.