

## Soğuk İklim Bölgesinde Farklı Dış Duvar Yapı Malzemelerinin Isıtma Yüküne Etkilerinin İncelenmesi

Meral ÖZEL

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ  
mozel@firat.edu.tr

(Geliş/Received:12.05.2017; Kabul/Accepted:24.10.2017)

### Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır. Duvarın yapısında taş, tuğla, beton ve gaz beton kullanılmış, yalıtım malzemesi olarak da ekspande polistren seçilmiştir. İlk önce yalıtımsız duvar ele alınarak güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için her bir yapı malzemesinin ısıtma yüküne etkileri sayısal olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ise uygulamada çok kullanılan dıştan yalıtımlı bir duvar ele alınarak artan yalıtım kalınlığına göre ısı kayıpları belirlenmiştir. Bunun için dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva bulunan yalıtımsız ve dıştan yalıtımlı taş, tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş duvar yapıları ele alınmıştır. Yapı malzemelerinin her birinin kalınlığı 20 cm alınmış ve yalıtım malzemesinin kalınlığı ise artırılmıştır. Sonuç olarak farklı duvar yönlerine göre aynı kalınlıkta seçilen dört farklı yapı malzemesi için ısı kayıpları yalıtımsız ve yalıtımlı olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Taş duvara 4 cm, tuğla duvara 3.5 cm ve beton duvara ise 4.5 cm yalıtım uygulanarak yalıtımsız gaz beton duvardaki maksimum ısı akısı elde edilmiş olur.

**Anahtar Kelimeler:** Dış duvarlar, Yalıtım, Isıtma yükü, İmplicit sonlu fark metodu.

## Investigation of Effects of Different External Wall Structure Materials on Heating Load in the Cold Climate Region

### Abstract

In this study, the heating loads for building external walls in Kars city which is one of the coldest cities of Turkey are investigated by using four different structure materials as insulated and uninsulated. Stone, brick, concrete and aerated concrete were used to construct the wall structures. Expanded polystyrene as insulation material were selected. Firstly, effects of each one structure materials on heating load are numerically calculated for south, north, east and west oriented walls. Later, heating losses according to increasing insulation thicknesses are also calculated for a wall insulated outside much-used in practice. Therefore, wall structures consisted of stone, brick, concrete and aerated concrete applying plaster 2 cm in the exterior and interior surface are considered. Thicknesses of each one of structure materials are accepted as 20 cm, and thickness of insulation material is increased. Consequently, the heat losses are calculated as uninsulated and insulated for four different structure materials selected at the same thickness according to different wall orientations. Then, the results obtained are presented in graphics. Results show that peak load of aerated concrete wall without insulation is equal peak load when stone, brick and concrete walls are insulated with EPS at 4 cm, 3.5 cm and 4.5 cm thicknesses, respectively.

**Keywords:** External walls, Insulation, Heating load, Implicit finite difference method.

### 1. Giriş

Ülkemizdeki enerji üretimi, tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğunu karşılayamadığından çoğunlukla ithal edilmektedir. Nüfus artışı, gerekmektedir[1]. Enerji tüketimi temel itibarıyla binalar, sanayi, ulaşım ve tarım olmak üzere dört ana sektörde gerçekleşmektedir.

kentleşme, büyük şehre göç ve yaşam standartlarının gelişmesi ile enerji tüketimi hızla artmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi arasında büyük fark olan Türkiye gibi ülkelerin mümkün olduğu kadar enerji tasarrufu tedbirlerini alması Binalarda tüketilen enerji toplam enerjinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır [2].

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü, ısı konforu sağlamak amacıyla binaların ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Bu enerji tüketimini, konfor şartlarından fedakarlık etmeden azaltmak için kış aylarında ısı kayıplarını ve yaz aylarında da ısı kazançlarını önleyerek ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının ve dolayısıyla yakıt tüketiminin azaltılması gerekir. Aksi takdirde enerjinin fazla kullanılması, fosil yakıtların hızla tükenmesine ve çevre kirliliğine sebep olarak doğal dengeyi bozacaktır. Bu yüzden enerjinin korunumu açısından iklim şartlarına en çok maruz kalan bina dış kabuk elemanlarının yalıtılması oldukça önemlidir.

Duvar dış yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark faz kayması ve bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı ise sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Duvar malzemesinin termofiziksel özelliklerine ve kalınlığına bağlı olarak farklı faz kayması ve sönüm oranları elde edilebilmektedir. Böylece gün periyodu boyunca depolanan enerji dış taraftaki sıcaklığın düşük olduğu gece periyodu boyunca kullanılabilir. Özellikle dış sıcaklık dalgalanmalarının oldukça yüksek olduğu yerlerde sönüm oranının çok düşük ve faz kaymasının yüksek olduğu özel duvarlar dizayn ederek, dış sıcaklık salınımlarını sönümleyerek iç tarafa yayılımı önenebilir ve böylece mahallerin konfor seviyeleri yükseltilmiş olur [3,4,5 ve 6].

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle Duffin ve Knowles, ortalama iç sıcaklığı konfor seviyesinde tutmak için oldukça büyük dış sıcaklık salınımlarını sönümleyecek duvar tasarımını, karma elektriksel ağ örgüsü metodunu kullanarak analitik olarak incelemiştir. Duvarın iç yüzey sıcaklığına istenilen gecikmeyle ulaşmanın çok kalın duvarlar (12-18 inç) ile mümkün olduğunu ve bu durumda, duvarlar boyunca sıcaklık dalgasında dikkate değer bir azalmanın söz konusu olduğunu belirtmişlerdir [7]. Durgun ve Derbentli, çeşitli yapı elemanlarında geçici rejimde ısı transfer miktarını hesaplayan bir yöntem geliştirerek, Türkiye'nin değişik

bölgelerinde duvar ve çatılardan olan ısı kazançlarını hesaplamışlardır[8]. Özel ve Pıhtılı, bina duvarlarına uygulanan yalıtımın duvar içerisinde beş farklı konumlandırma durumunu ele alarak ısı kazanç ve kayıpları açısından implicit sonlu fark formülasyonunu kullanarak araştırmışlardır [9].

Soderegger, Fourier dönüşümleri ve matris metodu kullanılarak bir boyutlu ısı iletim denkleminin çözümünü, basitleştirici kabuller yaparak bir veya iki katmanlı duvarlara uygulamıştır. Ana duvar kütlelerinin iç tarafına veya dış tarafına yalıtım yerleştirmenin avantajları ve dezavantajlarını tartışmıştır[10]. Sodha vd., üç katmanlı (yalıtım-beton-yalıtım) bir çatıda, periyodik ısı geçişini analitik olarak inceleyerek iç ve dış taraf için verilen toplam yalıtım kalınlığının iki taraf arasındaki en uygun dağılımını araştırmışlardır [11]. Özel ve Pıhtılı, toplam yalıtım kalınlığı aynı olacak şekilde duvar içerisinde birbirinden ayrı yerlere yerleştirilen iki ve üç parça yalıtım tabakalarının biri birine eşit ve farklı kalınlıklarda olmaları dikkate alınarak ısı kazanç ve kayıpları açısından yalıtım dağılımının etkisini incelemiştir[12]. Aynı yazarların bir diğer çalışmasında ise, Türkiye'nin 2. derece gün bölgesinde bulunan Diyarbakır ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları dört farklı duvar yapısı için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri birlikte ele alınarak araştırmışlardır [13].

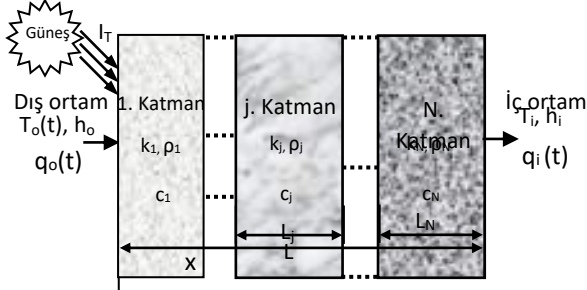
Son olarak, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve çevresel etkileri iki farklı duvar yapısı ve iki farklı yalıtım malzemesi için araştırılmıştır [14].

Bu çalışmada ise yine Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır.

## 2. Matematiksel Metod

Bu çalışmada, Şekil 1' de gösterilen çok katmanlı bir duvar yapısı model olarak alınmıştır. Duvarın dış yüzeyi, periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına

maruz bırakılmıştır. İç yüzeyi ise sabit sıcaklıktaki oda havası ile temas etmektedir.



Şekil 1. N paralel katmandan oluşan çok katmanlı bir duvar yapısı

Şekil 1' de gösterildiği gibi mükemmel ısıl temastaki N paralel katmandan oluşan çok katmanlı bir duvardaki geçici bir boyutlu ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$k_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = \rho_j c_j \frac{\partial T_j}{\partial t}, \quad j=1,2,\dots,N \quad (1)$$

Burada  $\rho_j$ ,  $c_j$  ve  $k_j$  sırasıyla j inci katmanın yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletkenliğidir. Katmanlar arasındaki ısıl temas için aşağıdaki ifadeler geçerlidir:

$$k_j \frac{\partial T_j}{\partial x} = k_{j+1} \frac{\partial T_{j+1}}{\partial x}, \quad j=1,2,\dots,(N-1) \quad (2)$$

$$T_j(x,t) = T_{j+1}(x,t), \quad j=1,2,\dots,(N-1) \quad (3)$$

Dış ve iç duvar yüzeylerindeki taşınım sınır şartları ile başlangıç şartı ise sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$-k_1 \frac{\partial T}{\partial x}_{x=0} = h_o(T_e(t) - T_{x=0}), \quad (4)$$

$$-k_N \frac{\partial T}{\partial x}_{x=L} = h_i(T_{x=L} - T_i) \quad (5)$$

$$T(x,0) = T_b \quad (6)$$

Burada  $h_o$  ve  $h_i$  sırasıyla yapının dış ve iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayılarıdır.  $T_i$  iç ortam

sıcaklığı ve  $T_b$  başlangıç sıcaklığıdır.  $T_e$  ise 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 dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki şekilde yazılmaktadır [15]:

$$T_e = T_o + a.I / h_o \quad (7)$$

Burada  $T_o$  dış hava sıcaklığını,  $a$  dış taraf yüzeyinin güneş emiciliğini  $I$  ise toplam güneş ışınımı şiddetini göstermektedir. Dik duvar yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti ( $I$ ), aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [16]:

$$I = R_d I_d + (I_y + I_a \rho_y) / 2 \quad (8)$$

$$R_d = \frac{\cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (9)$$

Denklem (8)'deki  $I_d$ ,  $I_y$  ve  $I_a$  yatay düzleme gelen direk, yayılı ve anlık güneş ışınımı şiddetleridir.  $\rho_y$  çevrenin yansıtma oranı olup 0.2 olarak alınabilir [16].  $R_d$  parametresindeki  $\delta$  deklinasyon açısı,  $\phi$  enlem açısı,  $\gamma$  yüzey azimut açısı olup eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu verir. Güneye bakan bir eğik düzlem için  $\gamma = 0^\circ$  dir. Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-) ve güneyden batıya doğru, kuzeye kadar pozitif (+) alınır. Yani  $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$  değerlerini alır.  $\omega$  ise saat açısı olup 15 derece bir saate eşdeğerdir. Öğlen saatinde  $\omega = 0^\circ$  dir. Saat açısı öğleden önce negatif (-) öğleden sonra ise pozitif (+) olarak alınır. (8) ve (9) denklemlerindeki ışınımın ve açıların hesap yöntemleri ayrıntılı olarak mevcuttur [17].

(1)-(6) denklemleri ile ifade edilen diferansiyel denklem ile sınır şartları implicit sonlu fark yaklaşımını kullanarak çok katmanlı duvar için çözüm yapılmıştır [17]. Daha sonra ise bir bilgisayar programı geliştirilerek yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur. Bu durumda iç ortama transfer edilen anlık ısı akışı miktarı ise elde edilen duvar iç yüzey sıcaklıklarından faydalanarak aşağıdaki Newton'

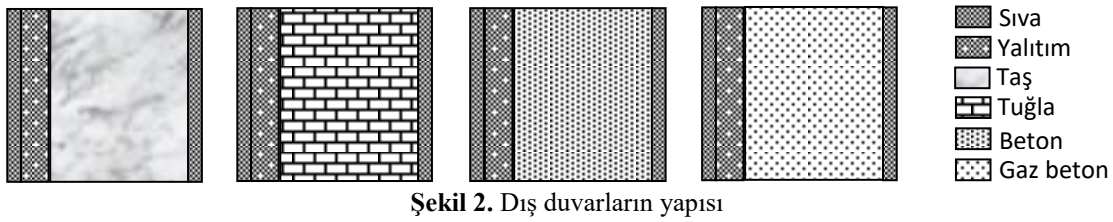
un soğutma kanunu ifadesi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$q_i = h_i(T_{x=L} - T_i) \quad (7)$$

Programda, yapı elemanının aynı eşdeğer sıcaklık değişimine her periyot sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak ısı akısı değişiminin sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır.

### 3. Dış duvarların yapısı

Bu çalışmada, Şekil 2’de görüldüğü gibi dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva bulunan yalıtımsız ve dıştan yalıtımlı taş, tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş dört farklı duvar yapısı ele alınmıştır. Yapı malzemelerinin her birinin kalınlığı 20 cm alınmış ve yalıtım malzemesinin kalınlığı ise 0.5 cm’ lik aralıklarla 10 cm oluncaya kadar artırılmıştır. Dış duvarın yapısında kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 2. Dış duvarların yapısı

Tablo 1. Malzemelerinin termofiziksel özellikleri

Yapı ve Yal. Malzemeleri	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$c_p(\text{J/kgK})$	$k(\text{W/mK})$	$\alpha \times 10^{-7} (\text{m}^2/\text{s})$
Taş	2019	906	1.12	6.12
Tuğla	1580	840	0.69	5.20
Beton	2076	880	1.37	7.50
Gaz beton	1580	840	0.15	1.13
EPS	18	1500	0.038	0.14
İç ve Dış sıva	2778	840	0.70	2.99

### 4. Sonuçlar ve değerlendirme

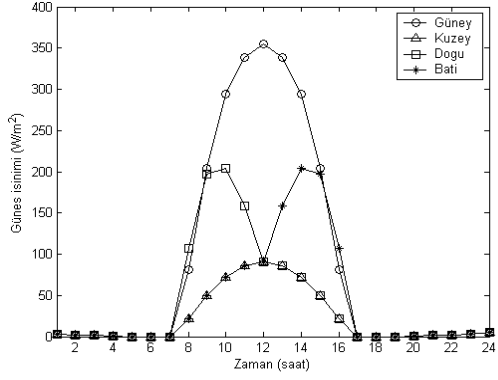
Bu çalışmada, Türkiye’nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarları için dört farklı yapı malzemesi kullanılarak ısıtma yükleri yalıtımlı ve yalıtımsız olarak araştırılmıştır. İlk önce yalıtımsız duvar ele alınarak güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için her bir yapı malzemesinin ısıtma yüküne etkileri hesaplanmış. Daha sonra ise uygulamada çok kullanılan dıştan yalıtımlı bir duvar ele alınarak artan yalıtım kalınlığına göre ısı kayıpları hesaplanmıştır.

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 ısı iletim denklemi implicit sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Daha sonra MATLAB’ da genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

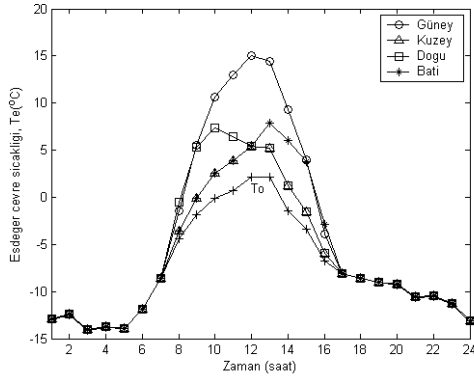
Programda, yapı elemanının aynı dış ortam sıcaklığına ve güneş ışınımı şiddetine her periyot sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak ısı akısı değişiminin sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır. Hesaplamalar Kars ilinde kışın en soğuk günlerinden biri olan 21 Ocak’ ta 20 °C sabit iç ortam sıcaklığı için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları meteorolojiden alınmıştır [18]. Opak yapının yutma oranı  $a=0.8$ , içteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla  $h_i=9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $h_o=22 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak alınmıştır. Farklı yönlere bakan duvar yüzeylerine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti ise gerekli bağıntılar yardımıyla programda hesaplanmıştır.

21 Ocak’ta bütün duvar yönlerine gelen güneş ışınımı şiddeti ve eşdeğer çevre sıcaklığının saatlik değişimi Şekil 3 (a-b)’de gösterilmektedir. Kışın maksimum güneş ışınımı güneye bakan duvarda elde edilirken minimum

güneş ışınımı Kuzeye bakan duvarda elde edilmektedir. Güney ve kuzey duvarın güneş ışınımı şiddeti ve eşdeğer çevre sıcaklığının en yüksek değeri öğlen saat 12:00'da oluşurken doğuda saat 10:00'da batı da ise saat öğleden sonra 14:00 da oluşmaktadır.



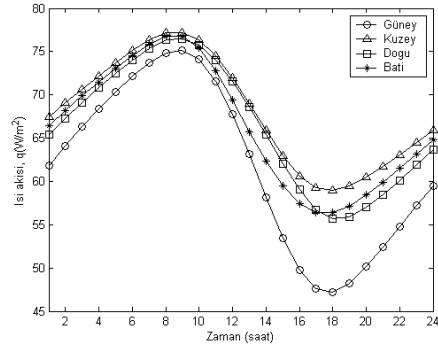
(a)



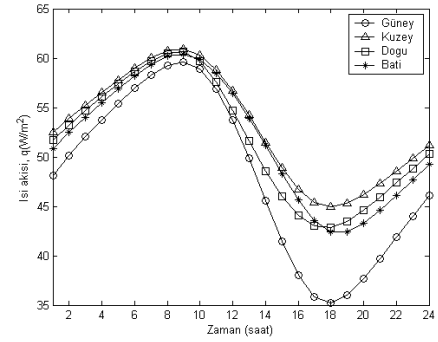
(b)

Şekil 3. 21 Ocak'ta bütün duvar yönlerine gelen a) güneş ışınımı şiddeti ve b) eşdeğer çevre sıcaklığının saatlik değişimi.

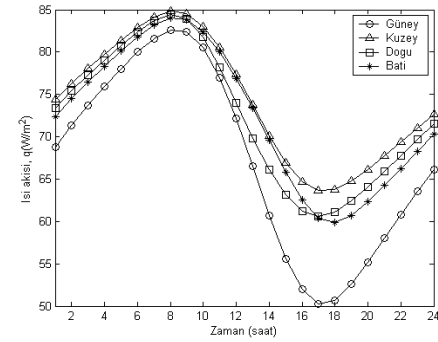
Şekil 4 (a-d) bütün duvar yönleri için sırasıyla taş, tuğla, beton ve gaz beton dan oluşan yalıtımsız duvarların zamana göre ısı akılarının değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi dört farklı yapı malzemesi için kışın en yüksek dalgalanma güneye bakan duvarda oluşurken, en düşük dalgalanma kuzeye bakan duvarda oluşmaktadır. Ayrıca tüm yönlerde en yüksek ısı akısı değerleri incelenen yapı malzemeleri içerisinde en yüksek ısıl iletkenliğe sahip beton duvarda elde edilirken minimum ısı akısı ise, ısıl iletkenliği en düşük olan gaz beton duvarda elde edilmiştir.



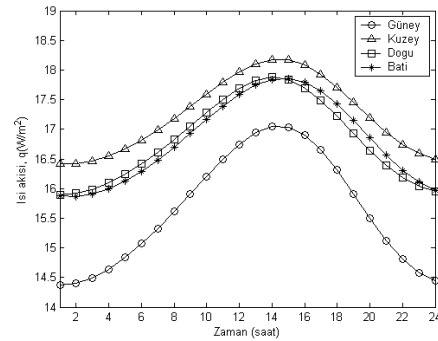
(a) Taş duvar



(b) Tuğla duvar



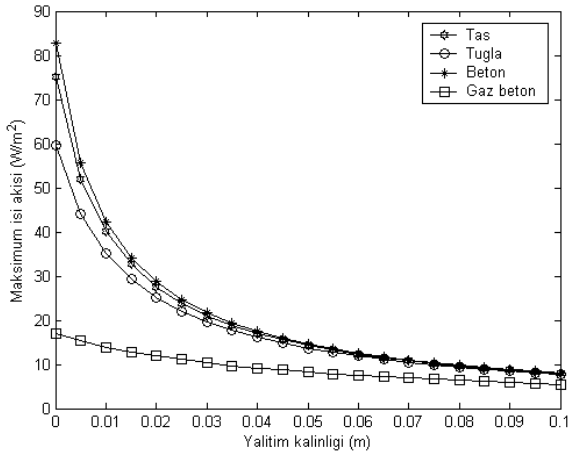
(c) Beton duvar



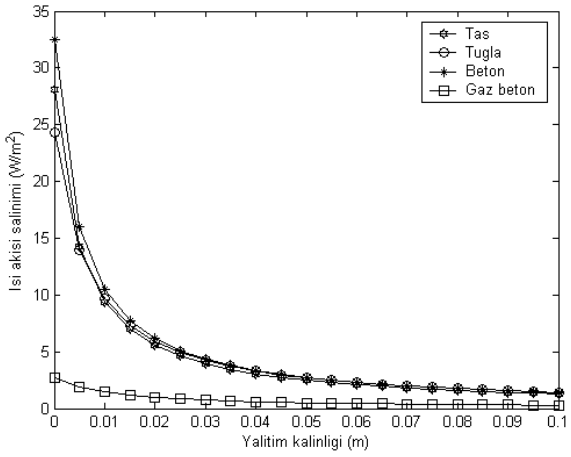
(d) Gaz beton duvar

Şekil 4. Bütün duvar yönleri için sırasıyla a) taş, b) tuğla, c) beton ve d) gaz beton' dan oluşan yalıtımsız duvarların zamana göre ısı akılarının değişimi.

Şekil 5 güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının artan yalıtım kalınlığına göre sırasıyla maksimum ısı akısını ve ısı akısındaki dalgalanmayı göstermektedir. Isı akısı ve dalgalanmanın en büyük değeri beton duvarda elde edilirken minimum ısı akısı ve dalgalanma gaz beton duvarda elde edilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça maksimum ısı akısı ve salınımlar giderek azalmıştır. Ancak ısıl iletkenlik değeri ve ısıl yayılım değerleri biri birine yakın olan malzemelerin ısı akıları biri birine çok yakın olarak elde edilmiştir.



(a)

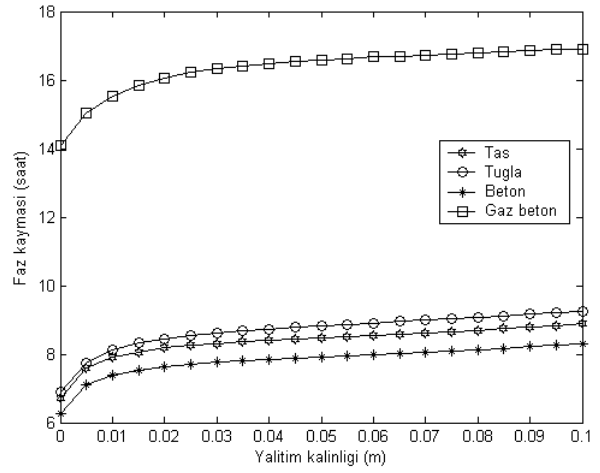


(b)

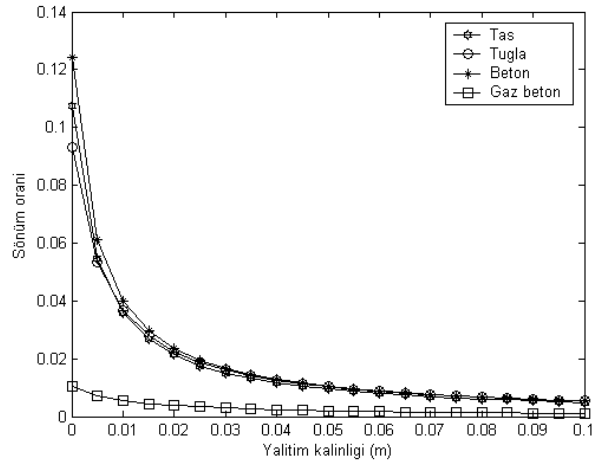
Şekil 5. Güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının artan yalıtım kalınlığına göre a) maksimum ısı akısı ve b) ısı akısındaki dalgalanma.

Yalıtımsız taş, tuğla beton ve gaz beton duvarların maksimum ısı akıları, sırasıyla 75.20, 59.60, 82.71 ve 17.05 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilirken, 6 cm yalıtım uygulandığı zaman bu

duvarların maksimum ısı akısı değerleri sırasıyla 12.32, 11.86, 12.59 ve 7.50 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Bu durumda Kars ilinde, taş tuğla, beton ve gaz betondan oluşmuş duvarlara 6 cm kalınlığında EPS yalıtım uygulandığı zaman maksimum ısı akısındaki azalma sırasıyla %83.61, %80, %84.8 ve %56 olmuştur. Aynı yalıtım kalınlığında en çok azalma beton duvarda elde edilirken en az azalma gaz beton duvarda elde edilmiştir. Taş duvara 4 cm, tuğla duvara 3.5 cm ve beton duvara ise 4.5 cm yalıtım uygulanarak yalıtımsız gaz beton duvardaki maksimum ısı akısı elde edilmiş olur.



(a)

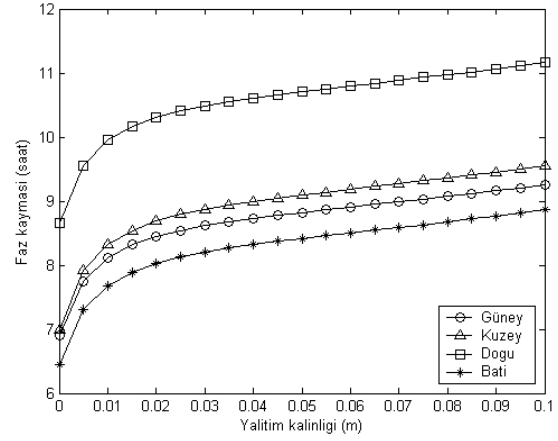


(b)

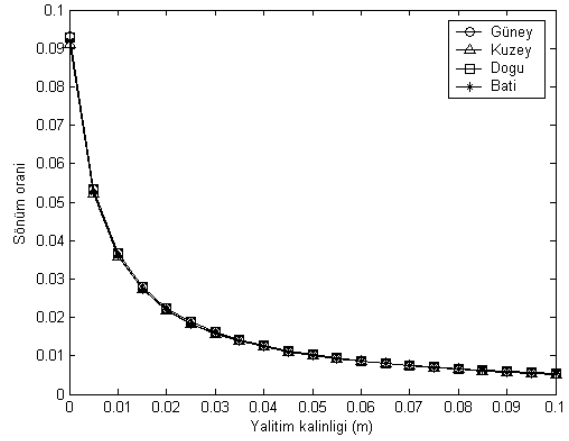
Şekil 6. Güneye bakan duvarda dört farklı yapı malzemesi için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

Şekil 6 güneye bakan duvar için dört farklı duvar yapısının sırasıyla faz kayması ve sönüm oranlarını göstermektedir. Sıcaklık duvar içerisinde sinüzoidal dalgalar şeklinde yayılmakta ve bu dalgaların genliği sıcaklık şiddetini; dalga boyu da zamanı simgelemektedir. Sinüzoidal sıcaklık dalgası, dış yüzeyden iç yüzeye ulaşana kadar geçen zaman, yani eşdeğer dış-sıcaklığın en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark, faz kayması olarak adlandırılır [3,4]. Bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı, başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığının genliğinin eşdeğer dış sıcaklığın genliğine oranı da, sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Şekillerden de görüldüğü gibi maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı en düşük ısı iletkenliğe ve ısı yayılım katsayısına sahip gaz beton duvar için elde edilmiştir. Isıl iletkenliği biri birine yakın olan malzemelerin faz kayması ve sönüm oranı değerleri biri birine yakın olarak elde edilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça faz kayması artarken sönüm oranları azalmıştır. Yalıtım kalınlığı arttıkça, özellikle ısı iletkenlik değerleri biri birine yakın olan duvar malzemelerinin sönüm oranı değerleri biri birine yaklaşmaktadır. Bu şekillerden görüldüğü gibi yalıtımsız gaz beton duvarın faz kayması 14.09 saat olarak elde edilirken 10 cm EPS yalıtımlı taş tuğla ve beton duvarın faz kayması değerleri sırasıyla 8.88, 9.26 ve 8.30 saat olarak elde edilmiştir. Gaz beton duvarın yalıtılmasından, aynı kalınlıktaki taş, tuğla ve beton duvarın yalıtılmasının daha önemli olduğu görülmüştür.

Şekil 7 tuğla duvarın dört farklı duvar yönü için sırasıyla faz kayması ve sönüm oranlarını göstermektedir. Aynı grafikler gaz beton duvar için de Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi maksimum faz kayması doğuya bakan duvarda elde edilirken minimum faz kayması ise batıya bakan duvarda elde edilmiştir. Bu sonuç, Şekil 3’deki duvar yönlerine gelen güneş ışınımı şiddeti ile desteklenebilir. Güneş ışınımından dolayı, dış yüzeydeki maksimum sıcaklık doğu duvarı için daha erken batı duvarı için daha geç elde edilir.



(a)

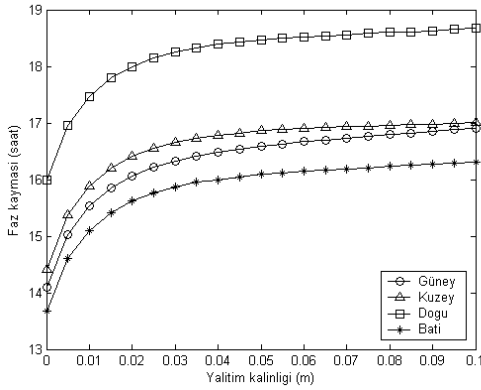


(b)

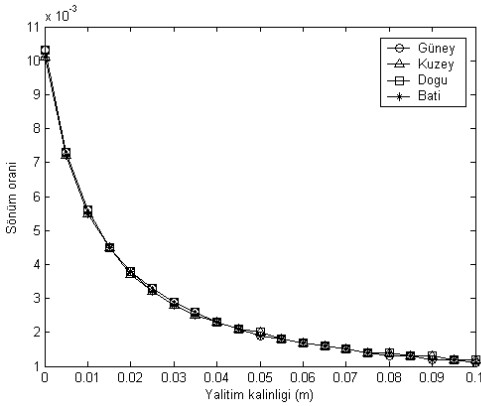
Şekil 7. Tuğla duvarın dört farklı duvar yönü için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

Yalıtımsız tuğla duvar için güney, kuzey, doğu ve batı yönlerine bakan duvarlar için faz kayması değerleri sırasıyla 6.9, 6.99, 8.65 ve 6.45 saat olarak elde edilirken sönüm oranı değerleri de 0.0931, 0.0911, 0.0929 ve 0.0919 olarak elde edilmiştir. Aynı duvara 6 cm yalıtım uygulandığı zaman yine aynı yönler için 8.91, 9.19, 10.8 ve 8.5 saat olarak elde edilirken sönüm oranı değerleri de 0.0087, 0.0085, 0.0087 ve 0.0085 olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak duvar yönünün faz kayması üzerinde önemli bir etkisi olurken sönüm oranı üzerinde etkisi olmamaktadır.



(a)



(b)

**Şekil 8.** Gaz beton duvarın dört farklı duvar yönü için artan yalıtım kalınlığına göre a) faz kayması ve b) sönüm oranlarının değişimi.

## 5. Öneriler

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki öneriler dikkate alınarak yeni araştırmalar yapılabilir:

1. Çalışma, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için genişletilebilir.
2. İncelenen tüm yapı malzemeleri için maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlıkları belirlenebilir.
3. Bu duvar malzemeleri için yoğuşma analizleri incelenebilir.

## Semboller

- $\alpha$  : Isıl yayılım katsayısı, ( $m^2/s$ )  
 $a$  : Dış yüzeyinin güneş ışınımını yutma oranı  
 $c$  : Özgül ısı, ( $J/kgK$ )  
 $h_i$  : İçteki taşınım katsayısı, ( $W/m^2\text{°C}$ )

- $h_o$  : Dıştaki taşınım katsayısı, ( $W/m^2\text{°C}$ )  
 $I$  : Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı şiddeti, ( $W/m^2$ )  
 $I_d, I_y, I_a$  : Sırasıyla yatay düzleme gelen direk, yayılı ve anlık güneş ışınımı şiddetleri, ( $W/m^2$ )  
 $k$  : Isı iletim katsayısı, ( $W/mK$ )  
 $\rho$  : Yoğunluk, ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_y$  : Yansıtma oranı  
 $T_e$  : Eşdeğer çevre sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )  
 $T_i, T_o$  : Sırasıyla iç ve dış ortam sıcaklıkları, ( $^{\circ}C$ )

## 6. Kaynaklar

1. Dağdır, C. ve Bolattürk, A., (2011). Sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısıtma ve soğutma yüküne göre tespit edilen optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* **124**: 64-77.
2. Kaynaklı, Ö., Mutlu, M., Kılıç, M., (2012). Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 48-54.
3. Asan, H. and Sancaktar, Y.S., (1998). Effects of Wall's Thermophysical Properties on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings*, **28**: 159-166.
4. Asan, H., (1998). Effects of Wall's Insulation Thickness and Position on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings*, **28**: 299-305.
5. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Farklı Yönlerde Bakan Duvarlarda Yalıtım Kalınlığının Faz Kayması ve Sönüm Oranına Olan Etkisinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* **17(2)**: 287-298.
6. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2007). Duvar yönünün faz kayması ve sönüm oranına etkisi, *Yalıtım dergisi*, **67**: 82-86.
7. Duffin, R.J. and Knowles G., (1984). Use of Layered Walls to Reduce Building Temperature Swings. *Solar Energy*, **33(6)**: 543-549.
8. Durgun İ., ve Derbentli, T., (1993). Duvarlarda Geçici Rejimde Isı Transferi. *Isı Bilimi ve Tekniği 9. Ulusal Kongresi, Fırat üniversitesi, Elazığ, TIBTD* **21**: 34-43.
9. Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı: **1**: 87-97.
10. Soderegger, R.C., (1977). Harmonic Analysis of Building Thermal Response Applied to The Optimal Location of Insulation within the Walls. *Energy and Buildings*, **1**: 131-140.
11. Sodha, M.S, Kaushik, S.C., Tiwari, G.N., Goyal, I.C., Malik, M.A.S., Khatry, A.K., (1997). Optimum



Distribution of Insulation Inside and Outside The Roof. *Building and Environment*, **14**: 47-52.

**12.** Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2005). Bina Duvarlarındaki Yalıtımın Uygun Dağılımının Isı Kazanç Ve Kayıpları Açısından Araştırılması. ULIBTK'05 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 7-9 Eylül 2005, TRABZON, 482-488.

**13.** Özel, M. ve Pıhtılı, K., (2013). Diyarbakır İlindeki Bina Dış Duvar Yapısının Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisinin Araştırılması. 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Diyarbakır.

**14.** Özel, M. ve Özel, C., (2013). Soğuk İklim Bölgesindeki Bina Dış Duvar Yalıtımının Ekonomik ve Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma. 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, Diyarbakır, 429-438.

**15.** Threlkeld, J.L., (1998). Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

**16.** Kılıç, A. ve Öztürk, A., (1983). Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.

**17.** Özışık, M.N., (1994). Finite Difference Methods in Heat Transfer. CRC Pres.

**18.** Elazığ Devlet Meteoroloji İstasyonu (1997-2010), Dış hava sıcaklığı raporu, Elazığ.