

Farklı Duvar ve Yakıt Tiplerinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Isıtma ve Soğutmada Tespiti ve Çevresel Etkileri

Hakan Karakaya

Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 72100 BATMAN
hakan.karakaya@batman.edu.tr

(Geliş/Received:13.03.2018; Kabul/Accepted:06.09.2018)

Özet

Gelişen teknoloji ve artan nüfus, enerjiye olan talebi günden güne artırmaktadır. Bu durum Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeleri zorunlu enerji tasarrufuna yöneltmiştir. Yapılarda enerji israfı için kullanılan en etkin yöntemlerden biri ısı yalıtımıdır. Bu çalışmada dört farklı duvar tipi (tuğla, izo-tuğla, bims blok ve gaz beton) için farklı yakıt (doğalgaz, kömür, fuel-oil ve elektrik) ve yalıtım (xps ve eps) türleri kullanılarak ısıtmada ve soğutmada optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet, enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve çevresel analizi yapılmıştır. Yıllık kazanç oranı optimum noktada yalıtımsız duruma göre ısıtmada sırasıyla % 38.20, % 55.31, % 30.19 ve % 85.10 iken soğutmada % 54.52, % 75.62, % 43.76 ve % 98.92 olmuştur. Geri ödeme süresi ısıtmada sırasıyla 2 yıl, 3,11 yıl, 1,54 yıl ve 5,88 yıl olurken soğutmada 3,03 yıl, 4,68 yıl, 2,30 yıl ve 8,79 yıl değerlerini almıştır. Çevreye salınan CO₂ ve SO₂ emisyonlarında yalıtımsız duruma oranla optimum noktada % 77,30 civarında azalma gözlenerek kayda değer miktarda fayda sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yalıtım, Çevresel Analiz, Enerji Tasarrufu, Geri Ödeme Süresi, İklim Bölgeleri

Detecting The Optimum Insulation Thickness For Different Wall And Fuel Types For Heating And Cooling And The Environmental Effects

Abstract

The developing technology and growing population have been increasing the demand for energy day by day. This situation has put the developing countries such as Turkey. One of the most effective methods used to prevent wasting the energy in buildings is thermal insulation. In this study, the analysis of the optimum insulation thickness for heating and cooling, total cost, energy saving, payback period and environmental factors were carried out using different types of fuel (natural gas, coal, fuel oil, and electricity) and insulation types (xps and eps) for four different wall types (brick, iso-brick, BIMS block and gas concrete). The annual gain rates at the optimum point when compared to the case of no insulation in heating are 38.20%, 55.31%, 30.19% and 85.10%, respectively, and 54.52%, 75.62%, 43.76% and 98.92% in the cooling. The payback periods were 2 years, 3.11 years, 1.54 years and 5.888 years in heating and 3.03 years, 4.68 years, 2.30 years and 8.79 years in cooling respectively. CO₂ and SO₂ emissions released to the environment have been observed to decrease by about 77.30% at the optimum point compared to the uninsulated state, and a significant amount of benefit has been achieved.

Keywords: Insulation, Environmental Analysis, Energy Saving, Payback Period, Climate Zones

1.Giriş

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde gelişen teknoloji, nüfus artışı beraberinde enerji talebini arttırmaktadır ve bu durumla doğaya zarar vermeden kalkınmalarının imkansız olmasıdır [1]. Endüstrileşmekte olan ülkelerde enerjinin büyük oranda fosil kaynaklar

kullanılarak elde edildiği göz önüne alınırsa, artan enerji ihtiyacı da atmosfere salınan CO₂, SO₂ gibi zararlı emisyonların artışına sebep olmaktadır. Bu olumsuz durumunun etkilerini azaltmak için ya rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına ya da doğrudan enerji tasarrufuna yönelmek gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek yatırım

maliyetleri nedeniyle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için en ucuz enerji kaynağına yönelmek yani israftan kaçınmak önem arz etmektedir.

2.Çalışmanın Önemi

Enerji tasarrufu sağlamak ve CO₂, SO₂ gibi zararlı emisyon oranlarını azaltmak için tercih edilebilecek en pratik ve ekonomik yollardan biri de yalıtım uygulamalarıdır. Yalıtımla elde edilen tasarrufla, kullanıcılara ve dolayısıyla da ülke ekonomisine artı bir kazanç olacaktır. Fakat kullanılan fosil kaynaklı yakıt türüne, yalıtım malzemesine, iklim özelliklerine ve toplam maliyete bağlı olarak uygulanacak yalıtım kalınlığı da değişim göstermektedir. Bu yüzden araştırmacılar iklimsel özellikleri ve toplam maliyeti göz önüne alarak, kullanılan yakıt ve yalıtım malzemesine göre optimum yalıtım kalınlığı belirleme çalışmaları yapmışlardır.

Binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için yapılan önceki çalışmalar şu şekildedir; Kaynaklı ve ark. [2] İstanbul ili için optimum yalıtım kalınlığını ısıtma sezonunda doğalgaz, soğutma sezonunda elektrik kullanılması durumunda sırasıyla 0,4 m ve 0,26 m olarak hesaplanmışlar ve toplam tasarruf oranını ısıtmada %40, soğutmada %28 olarak belirlemişlerdir. Ertürk [3] Ankara ili (Türkiye) için yakıt olarak doğalgaz ve yalıtım için xps'e ilave olarak 4 mm hava boşluğu kullanıldığında, optimum yalıtım kalınlığının 0.092 m'den 0.034 m'ye düştüğünü ve toplam maliyetin %28 oranında azaldığını belirtmiştir. Bolattürk [4] Türkiye'nin 4 farklı iklim bölgesinden 16 şehir seçerek farklı yakıt türleri ve iklim bölgeleri için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri üzerine araştırma yapmıştır. Yakıt olarak kömür, doğalgaz, dizel, lpg, elektrik ve yalıtım malzemesi olarak strafor kullanmış ve farklı iklim bölgeleri ve yakıt türüne bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının 2-17 cm arasında, enerji tasarrufunun %22-79 arasında ve geri ödeme süresinin 1,3-4,5 yıl arasında değiştiğini belirtmiştir. Kallioğlu ve ark. [5] Diyarbakır ili (Türkiye) için yapmış olduğu çalışmada örnek tuğla duvar için yakıt olarak doğalgaz, kömür ve

fuel-oil yalıtım malzemesi olarak xps ve eps kullanmışlardır. Yalıtım kalınlıkları 0.0675 m ile 0.0825 m arasında, yıllık tasarruf %62,16 ile %73,06 arasında değiştiğini ve emisyon miktarın %76 ile %85 arasında azaldığını tespit etmiştir. Yuan ve ark. [6] Çin'in 32 farklı bölgesinde iki farklı duvar ve üç farklı yakıtta yapmış olduğu çalışmada optimum şartlarda CO₂ oranında %63'lük düşüş tespit etmiştir. Işık ve Tuğan [7] Tunceli, Hakkâri ve Kars illeri (Türkiye) bölgesinde farklı yalıtım malzemesi ve değişken ısıtma derece-gün değerleriyle iller için optimum kalınlığın illeri için sırasıyla 0,079 m, 0,082 m ve 0,1040 m bulunmuştur. Ayrıca Türkiye için ideal yalıtım kalınlığının 0,028 m ve 0,096 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

Diğer çalışmalar incelendiğinde temel amaç optimum yalıtım kalınlığının tespitini yapmak ve o noktadaki ekonomik, çevresel ve yapıdaki yarar ve beklentileri analiz etmek üzerinedir [8-14]. Önceki çalışmalardan da görüleceği üzere binalara uygulanabilecek optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplanması, hem enerji tasarrufu hem de toplam maliyeti minimuma indirmek amacıyla enerji tasarrufu için önem kazanmıştır.

3.Yöntem

Bu çalışmadaki hesaplamalar Türkiye iklim coğrafyasında 2.bölgedeki Batman ili için yapılmıştır. Hesaplamalarda ısıtma derece gün değeri $T \leq 15 \text{ C}^0$ ve soğutma derece gün değeri $T > 22 \text{ C}^0$ alınarak dış duvardaki ısı kayıpları ve buna bağlı enerji ihtiyaçları tespit edilmiştir [15]. ısıtma ve soğutma gün derecesi verileri 2008-2017 yılları arasındaki ortalama yıllık değerler kullanılmıştır ve tablo 1'de gösterilmiştir. Bölgenin ısıtma-soğutma değerleri sırasıyla 1893 (hdd) ve 808 (cdd) olmaktadır.

Hesaplamalarda ömür maliyet analizi (LLCA) kullanılarak ısıtma için kömür, doğalgaz ve fueloil kullanılırken soğutma da elektrik kullanılmıştır. Optimum noktanın tespiti mevcut piyasada en çok kabul gören iki farklı yalıtım malzemesine (ekstrüde polistiren (xps) foamboard ve ekspande polistiren (eps) izopor) göre analiz edilmiştir.

Tablo 1. Batman ilinin ısıtma ve soğutma değerleri

| | | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Toplam |
|------|-----|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| 2017 | hdd | 513 | 488 | 242 | 130 | 10 | - | - | - | - | 26 | 232 | 378 | 2019 |
| | cdd | - | - | - | - | 6 | 122 | 277 | 255 | 117 | 1 | - | - | 778 |
| 2016 | hdd | 517 | 284 | 252 | 67 | 10 | - | - | - | - | 7 | 314 | 461 | 1912 |
| | cdd | - | - | - | - | 9 | 137 | 282 | 295 | 75 | - | - | - | 798 |
| 2015 | hdd | 474 | 337 | 284 | 141 | - | - | - | - | - | 12 | 249 | 473 | 1970 |
| | cdd | - | - | - | - | 6 | 128 | 281 | 269 | 153 | 7 | - | - | 844 |
| 2014 | hdd | 453 | 328 | 203 | 75 | - | - | - | - | - | 28 | 270 | 354 | 1711 |
| | cdd | - | - | - | - | 17 | 141 | 282 | 280 | 109 | 7 | - | - | 836 |
| 2013 | hdd | 461 | 307 | 242 | 92 | 21 | - | - | - | - | 49 | 209 | 637 | 2018 |
| | cdd | - | - | - | - | 3 | 122 | 266 | 237 | 74 | 7 | - | - | 709 |
| 2012 | hdd | 423 | 417 | 395 | 63 | - | - | - | - | - | 7 | 156 | 385 | 1846 |
| | cdd | - | - | - | - | 7 | 173 | 275 | 263 | 116 | 20 | - | - | 854 |
| 2011 | hdd | 425 | 347 | 268 | 122 | 25 | 0 | - | - | 0 | 62 | 352 | 483 | 2084 |
| | cdd | - | - | - | - | 2 | 112 | 280 | 244 | 78 | - | - | - | 716 |
| 2010 | hdd | 352 | 295 | 192 | 80 | 12 | 0 | - | - | 0 | 10 | 230 | 342 | 1513 |
| | cdd | - | - | - | - | 24 | 188 | 304 | 291 | 141 | - | - | - | 948 |
| 2009 | hdd | 522 | 304 | 279 | 167 | 37 | - | - | - | 4 | 11 | 234 | 316 | 1874 |
| | cdd | - | - | - | - | 7 | 126 | 257 | 208 | 69 | - | - | - | 667 |
| 2008 | hdd | 584 | 422 | 152 | 66 | 13 | - | - | - | - | 22 | 235 | 490 | 1984 |
| | cdd | - | - | - | 23 | 25 | 179 | 289 | 292 | 129 | - | - | - | 937 |

3.1 Bina duvarlarının modeli

Yapılarda görülen ısı kayıplarının en fazla olduğu alanlar duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlardır. Bu alanlardaki ısı kayıpları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve yapı malzemesine göre farklılık göstermektedir. Günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi, bünyesinde yalıtım malzemesi barındıran, birden fazla

katmandan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedirler. Bu çalışmada optimum yalıtım kalınlığının tespitinde sadece dış duvarlardan ısı kaybı meydana geldiği varsayılarak hesaplama yapılmıştır. Çalışmada kullanılan duvar bileşenleri alçı iç sıva, duvar tipi, yalıtım malzemesi ve çimento harçlı dış sıva şeklinde olmaktadır. Bu duvar bileşenlerine ait özellikler tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan duvar yapısı

| Duvar Tipi | Duvar Yapısı | Kalınlık (m) | k (W/m.K) | R (m ² K/W) | R duvar (m ² K/W) |
|-----------------|-------------------------|--------------|-----------|------------------------|------------------------------|
| Tuğla Duvar | Alçı İç Sıva | 0,02 | 0,51 | 0.0392 | 0.6837 |
| | Yatay Delikli Tuğla | 0,135 | 0,33 | 0.4019 | |
| | Çimento Harçlı Dış Sıva | 0,02 | 0,87 | 0.0230 | |
| | R iç | - | - | 0.1670 | |
| | R dış | - | - | 0.0454 | |
| İzo Tuğla Duvar | Alçı İç Sıva | 0,02 | 0,51 | 0.0392 | 1.0663 |
| | İzo Tuğla Duvar | 0,19 | 0,24 | 0.7917 | |
| | Çimento Harçlı Dış Sıva | 0,02 | 0,87 | 0.0230 | |
| | R iç | - | - | 0.1670 | |
| | R dış | - | - | 0.0454 | |
| Bims Blok Duvar | Alçı İç Sıva | 0,02 | 0,51 | 0.0392 | 0.5246 |
| | Bims Blok | 0,15 | 0,60 | 0.2500 | |
| | Çimento Harçlı Dış Sıva | 0,02 | 0,87 | 0.0230 | |
| | R iç | - | - | 0.1670 | |
| | R dış | - | - | 0.0454 | |
| Gazbeton Duvar | Çimento Harçlı İç Sıva | 0,02 | 0,51 | 0.0392 | 2.0438 |
| | Gazbeton | 0,23 | 0,13 | 1.7692 | |
| | Çimento Harçlı Dış Sıva | 0,02 | 0,87 | 0.0230 | |
| | R iç | - | - | 0.1670 | |
| | R dış | - | - | 0.0454 | |

Tipik bir duvar için toplam ısı geçiş katsayısını ifade eden U (W/m^2K) eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{izo} + R_o} \quad (1)$$

1 no.lu denklemdeki R_i ve R_o sırasıyla iç ve dış yüzeyin ısı direncini, R_w yalıtımsız duvar tabakasının ısı direncini ve R_{izo} ise yalıtım malzemesinin ısı direncini belirtmekte olup 2 nolu denklemle hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki x yalıtım malzemesinin kalınlığı ve k ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısıdır. Bu çalışmada kullanılan yalıtım malzemesi özellikleri tablo 3 de verilmiştir [16].

$$R_{izo} = \frac{x}{k} \quad (2)$$

Tablo 3. Yalıtım malzemesi özellikleri

| Yalıtım Malzemesi | k (W/mK) | Maliyet (\$/m ³) |
|----------------------------|----------|------------------------------|
| Extruded polystyrene (XPS) | 0,040 | 42.19 |
| Expanded polystyrene (EPS) | 0,030 | 85.37 |

3.2 Bina duvarları için ısıtma yükü

Binalardaki en yüksek ısı kayıpları genellikle dış ortamla temas halindeki duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemelerden olmaktadır. Bu çalışmada ise hesaplamalar sadece dış duvarlardan meydana geldiği varsayılarak yapılmış ve güneş ışınlamı değerleri katılmamıştır. Dış duvarın birim yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki 3 no.lu eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [17 ve 18].

$$q = U \cdot \Delta T \quad (3)$$

3 No.lu denklemdeki U (W/m^2K) toplam ısı geçiş katsayısıdır. Birim yüzeyden meydana gelen yıllık ısı kaybı U ve derece gün sayısı (dgs) kullanılarak 4 no.lu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$q_A = 86400 \cdot DGS \cdot U \quad (4)$$

Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı E_A (J/m^2 -yıl), yıllık birim ısı kaybının sistem verimine bölünmesiyle 5 no.lu denklemle elde edilir.

$$E_A = \frac{86400 \cdot DGS \cdot U}{\eta} = \frac{86400 \cdot DGS}{(R_{TW} + R_{izo}) \cdot \eta} \quad (5)$$

Tüketilen yıllık yakıt miktarı m_{fA} (kg/m^2 -yıl) 6 no.lu bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$m_{fA} = \frac{86400 \cdot DGS}{(R_{izo} + x_y/k_y) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (6)$$

Birim alanı ısıtmak için kullanılan yıllık enerji maliyeti $C_{A,H}$ ($$/m²-yıl) eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmaktadır.$

$$C_{A,H} = \frac{86400 \cdot HDD \cdot C_f}{(R_{TW} + R_{izo}) \cdot \eta \cdot H_u} \quad (7)$$

Birim alanı soğutmak için kullanılan enerji maliyeti eşitlik 8 yardımıyla hesaplanmaktadır denklemdeki COP soğutma sisteminin performans katsayısını ifade etmektedir [19]. Bu çalışmada 2,5 olarak alınmıştır. Burada H_u (J/kg ; J/m^3 ; J/kWh) yakıtın alt ısı değerini, η yakıtın verimi ve C_f ($$/kg$; $$/m³) yakıtın fiyatı olup Tablo 4 de gösterilmiştir [20].$

$$C_{A,C} = \frac{86400 \cdot CDD \cdot C_f}{(R_{TW} + R_{izo}) \cdot COP} \quad (8)$$

Tablo 4. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri

| Yakıt | C_f | H_u | η | Kimyasal Formülü |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kömür(Soma) | 0,172710 \$/kg | 19,794 x 10 ⁶ J/kg | 0,65 | C _{5.85} H _{5.26} O _{1.13} S _{0.008} N _{0.077} |
| Doğalgaz | 0,280616 \$/m ³ | 34,526 x 10 ⁶ J/m ³ | 0,93 | C _{1.05} H ₄ O _{0.034} N _{0.022} |
| Fuel-Oil | 0,817532 \$/kg | 41,317 x 10 ⁶ J/kg | 0,80 | C _{7.3125} H _{10.407} O _{0.04} S _{0.026} N _{0.02} |
| Elektrik | 0,125293 \$/kWh | 3,5990 x 10 ⁶ J/kWh | 0,99 | - |

3.3 Optimum yalıtım hesabı

Binanın ihtiyaç duyduğu optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesiyle yalıtım maliyetinin minimum seviyede tutulması amaçlanmaktadır. Maliyet hesabında çeşitli metotlar olmakla birlikte, bu çalışmada ömür maliyet analizi hesabı kullanılmıştır. Binaın toplam ısıtma maliyeti, enerji maliyeti, varsa yalıtım maliyeti, gelecek değer faktörü olarak nitelendirilen (pwf) bir parametre ve belirlenen bir zaman periyoduna (N) göre hesap edilir. pwf değerinin hesabında kullanılan r gerçek faiz oranı enflasyon oranı (g) ve faiz oranına (i) bağlı olarak 9 no.lu denklemle iki ayrıık duruma göre hesap edilmektedir [21 ve 22].

$$\text{eğer } i > g \text{ ise } r = \frac{i-g}{1+g}; \text{ Eğer } g > i \text{ ise } r = \frac{g-i}{1+i} \quad (9)$$

Bu çalışmadaki hesaplamalarda on yıllık süreç baz alınmış, faiz oranı %9,25 ve enflasyon oranı %10,35 gibi güncel değerleriyle hesaplamalar yapılmış ve gelecek değer faktörü 10 no.lu denklemle hesaplanmıştır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N}{r \cdot (1+r)^N} \quad (10)$$

Yalıtımı yapılmış bir binanın toplam maliyeti C_T (\$) 11 no.lu eşitlikle hesaplanmaktadır. Burada C_i yalıtım malzemesinin birim fiyatı ($\$/m^3$) ve x (m) yalıtım malzemesinin kalınlığıdır.

$$C_T = C_A \cdot PWF + C_i \cdot x \quad (11)$$

Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında toplam maliyetin minimum düzeyde olması gerekmektedir. Toplam maliyeti veren 10 no.lu denklemin yalıtım kalınlığı (x)'e göre türevi alınarak 12 no.lu bağıntıyla hesaplanmaktadır.

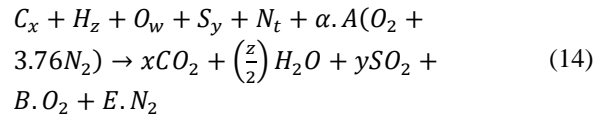
$$x_{op} = 293.94 \cdot \left(\frac{DGS \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{H_u \cdot C_i \cdot \eta} \right)^{\frac{1}{2}} - k \cdot R_{TD} \quad (12)$$

Yapılan yatırımdan elde edilen kazanç sonrası geri ödeme süresinin hesaplanmasında 13 no.lu denklem kullanılmaktadır. Bu denklemdeki S_A yıllık tasarruf olup yalıtımsız duvar ile yalıtım duvarın yıllık enerji maliyeti arasındaki farktır.

$$p_b = \frac{C_T}{S_A} \quad (13)$$

3.4 Çevresel analiz

Enerji gereksiniminde kullanılan fosil kökenli yakıtlar atmosferdeki zararlı emisyon miktarını arttırarak ekolojik dengenin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Konutlarda artan yalıtım kalınlığıyla azalacak ısıtma giderleriyle bu soruna bir nebze çözüm olunabilir. Yakıt için yanmanın genel formülü 14 no.lu bağıntıdaki gibidir [5, 17, 23].



Oksijen denge şartından A,B ve E sabitleri aşağıdaki 15,16 ve 17 no.lu denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$A = \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) \quad (15)$$

$$B = (\alpha - 1) \cdot \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) \quad (16)$$

$$E = 3.76\alpha \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{4} \right) + \frac{t}{2} \quad (17)$$

SO_x ve CO Emisyonları denklem 1 de ihmal edilmiştir. Yıllık yakıt tüketimine bağlı olarak emisyon değerleri 18 no.lu ve 19 no.lu eşitlikle hesaplanabilir.

$$mCO_2 = \frac{44 \cdot x}{M} m_{fA} \quad (18)$$

$$mSO_2 = \frac{64 \cdot x}{M} m_{fA} \quad (19)$$

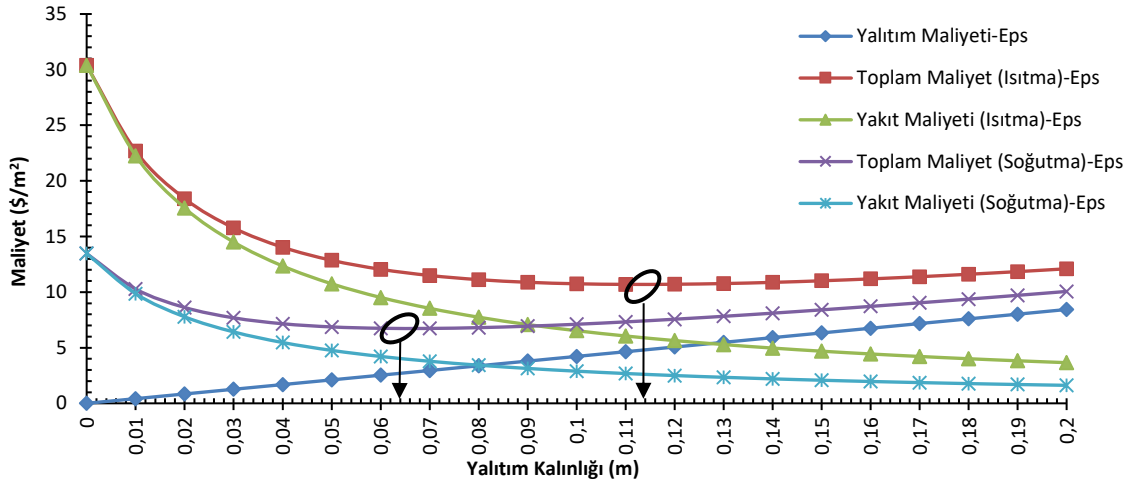
17. ve 18. Eşitlikteki M yakıtın mol ağırlığı olup 20 no.lu bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$M = 12x + z + 16w + 32y + 14t \quad (20)$$

4.Bulgular Ve Tartışma

Bu çalışmada hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı değeri, duvar tipine, yakıt türüne ve yalıtım malzemesine göre değişiklik göstermektedir. Binaların dış duvarlarına yapılan ısı yalıtımı meskenden dış ortama gerçekleşen ısı kaybını ve dolayısıyla mahallin ısıtma veya soğutma yükünü azaltır. Bu durum direk olarak

tüketilen yakıt sarfiyatında ve dolaylı olarak da salınan zararlı gazların miktarının azalmasında önemlidir. Yalıtım uygulaması hesabında kullanılan toplam maliyet değeri tüketilen yakıt ve yalıtım malzemesi birim fiyatından oluşmaktadır. Her ne kadar artan yalıtım kalınlığı tüketilen enerji miktarının azalmasında olumlu etken olsa da bu durum bir noktadan sonra toplam maliyeti arttırmaktadır. Bu artış, optimum yalıtım kalınlığına kadar orantılı bir şekilde devam etmektedir. Bu değerden sonraki lüzumsuz yalıtım kalınlığı kazanılan ısı yükünü karşılayamayıp toplam maliyeti arttırmaktadır. Toplam maliyetin minimum olduğu değer bize uygun yalıtım kalınlığını verecektir.



Şekil 1. Eps malzemesinin tuğla duvarda ısıtma ve soğutmada kullanım durumunda maliyet kalınlık ilişkisi

Şekil 1’de optimum noktanın tespitinde toplam maliyetin minimum olduğu noktalar ısıtma ve soğutma için görülmektedir. Batman iklim şartlarında tuğla duvarın kullanılmasıyla optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma (kömür) ve soğutmada (elektrik) sırasıyla 0,1130 m ve 0,0661 m olmuştur. Optimum noktadan sonra artan yalıtım kalınlığı ile toplam maliyette artış eğilimi gözlemlenmektedir. Dört farklı duvar tipi

için (Tuğla, İzo-Tuğla, Bims-Blok ve Gazbeton) yalıtım kalınlığının toplam maliyeti, yakıt maliyeti ve yalıtım maliyeti üzerindeki etkisi, dıştan yalıtımlı duvar uygulamalarına göre Şekil 3 ve 4’te gösterilmiştir. Değişik yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri için, optimum yalıtım kalınlığı (12) no.lu denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Optimum noktada kaydedilen değerler Tablo 5, 6, 7 ve 8 de gösterilmiştir.

Tablo 5. Tuğla duvar için hesaplanan değerler

| Malzeme | Extruded polystyrene (xps) | | | | Expanded polystyrene (eps) | | | |
|-------------------------|----------------------------|--------|-----------|----------|----------------------------|--------|-----------|----------|
| | Isıtma | | Soğutmada | | Isıtma | | Soğutmada | |
| Metot | | | | | | | | |
| Yakıt Tipi | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik |
| X _{opt} (m) | 0,0485 | 0,0651 | 0,0956 | 0,0364 | 0,0859 | 0,1130 | 0,1632 | 0,0661 |
| Geri Ödeme Süresi(yıl) | 2,76 | 2,23 | 1,65 | 3,34 | 2,25 | 1,82 | 1,34 | 2,72 |
| Yıllık Kazanç (\$/m²) | 9,78 | 17,57 | 37,98 | 5,51 | 11,39 | 19,71 | 41,09 | 6,74 |
| Yıllık Kazanç Oranı (%) | 50,58 | 42,20 | 32,20 | 59,06 | 42,45 | 35,17 | 26,64 | 49,98 |

Tablo 6. İzo-tuğla duvar için hesaplanan değerler

| Malzeme | Extruded polystyrene (xps) | | | | Expanded polystyrene (eps) | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------|-----------|----------|----------------------------|--------|-----------|----------|
| | Isıtmada | | Soğutmada | | Isıtmada | | Soğutmada | |
| Metot | | | | | | | | |
| Yakıt Tipi | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik |
| X _{opt} (m) | 0,0371 | 0,0536 | 0,0842 | 0,0250 | 0,0706 | 0,0977 | 0,1479 | 0,0508 |
| Geri Ödeme Süresi(yıl) | 4,27 | 3,46 | 2,56 | 5,16 | 3,49 | 2,82 | 2,09 | 4,21 |
| Yıllık Kazanç (\$/m ²) | 3,66 | 7,64 | 18,86 | 1,66 | 4,94 | 9,45 | 21,64 | 2,55 |
| Yıllık Kazanç Oranı (%) | 71,19 | 60,79 | 47,50 | 80,79 | 61,12 | 51,53 | 39,75 | 70,46 |

Tablo 7. Bims blok duvar için hesaplanan değerler

| Malzeme | Extruded polystyrene (xps) | | | | Expanded polystyrene (eps) | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------|-----------|----------|----------------------------|--------|-----------|----------|
| | Isıtmada | | Soğutmada | | Isıtmada | | Soğutmada | |
| Metot | | | | | | | | |
| Yakıt Tipi | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik |
| X _{opt} (m) | 0,0533 | 0,0698 | 0,100 | 0,0412 | 0,0923 | 0,1194 | 0,1696 | 0,0724 |
| Geri Ödeme Süresi(yıl) | 2,12 | 1,72 | 1,27 | 2,57 | 1,73 | 1,40 | 1,03 | 2,09 |
| Yıllık Kazanç (\$/m ²) | 15,38 | 26,39 | 54,56 | 9,19 | 17,13 | 28,66 | 57,81 | 10,55 |
| Yıllık Kazanç Oranı (%) | 40,39 | 33,40 | 25,26 | 47,64 | 33,62 | 27,66 | 20,81 | 39,88 |

Tablo 8. Gazbeton duvar için hesaplanan değerler

| Malzeme | Extruded polystyrene (xps) | | | | Expanded polystyrene (eps) | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------|-----------|----------|----------------------------|---------|-----------|----------|
| | Isıtmada | | Soğutmada | | Isıtmada | | Soğutmada | |
| Metot | | | | | | | | |
| Yakıt Tipi | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik | Doğalgaz | Kömür | Fuel-Oil | Elektrik |
| X _{opt} (m) | 0,0077 | 0,024 | 0,0548 | -0,0044 | 0,0315 | 0,0586 | 0,1088 | 0,0117 |
| Geri Ödeme Süresi(yıl) | 8,03 | 6,53 | 4,85 | 9,66 | 6,58 | 5,34 | 3,96 | 7,92 |
| Yıllık Kazanç (\$/m ²) | 0,08 | 0,82 | 4,18 | 0,03 | 0,5131 | 1,7739 | 6,11 | 0,07 |
| Yıllık Kazanç Oranı (%) | 98,75 | 91,97 | 77,71 | 99,41 | 92,25 | 82,5579 | 67,40 | 98,44 |

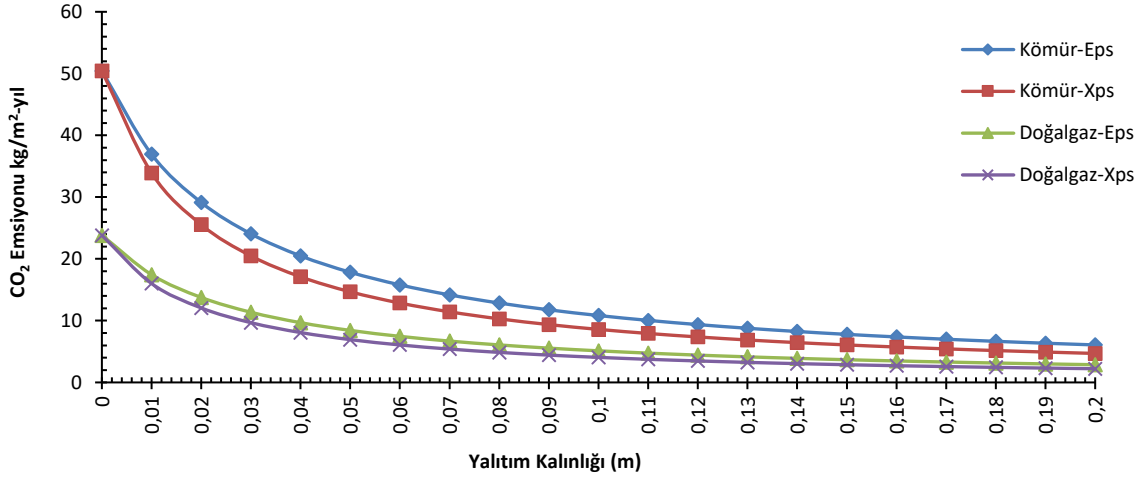
Tablo 5, 6, 7 ve 8 incelendiğinde farklı duvar tiplerine göre optimum yalıtım kalınlığı ısıtmada (doğalgaz, kömür ve fuel-oil) ve soğutmada (elektrik) kullanılmasıyla ve yalıtım malzemelerine (extruded polystyrene and expanded polystyrene) göre farklılıklar göstermektedir.

Bina yalıtımında extruded polystyrene (xps) ve Expanded polystyrene (eps) malzemesinin ısıtmada kullanılmasında en düşük optimum ısı yalıtım kalınlığı gazbeton duvarda hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla doğalgazda 0,0077 (m)- 0,0315 (m), kömürde 0,0240 (m)- 0,0586 (m) ve fuel-oil de 0,0548 (m)- 0,1088 (m) değerini almıştır. En yüksek yalıtım kalınlığı değerleri ise bims blok duvarda hesap edilmiş ve sırasıyla doğalgazda 0,0533 (m)- 0,0923 (m), kömürde 0,0698 (m)- 0,1194 ve fuel-oilde 0,100 (m)- 0,1696 değerini almıştır. Yalıtımın bina soğutulmasında kullanılması durumunda ısıtmayla benzer değerler gözlenmiştir. Yalıtımda xps ve eps malzemesinin kullanılmasında en düşük değer gazbeton duvarda sırasıyla -0,0044 (m)- 0,0117 (m) en yüksek değer ise bims blok duvarda sırasıyla 0,0412 (m)- 0,0724 (m) olmaktadır.

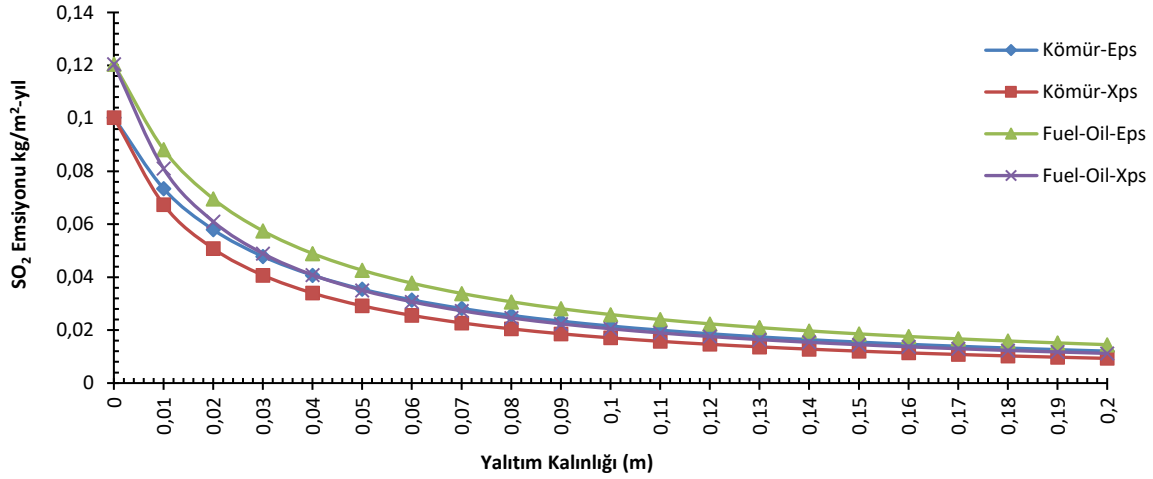
xps malzemesi için ısıtmada kullanılan enerjinin yüzde 99,41 ile 25,26 değerleri arasında değişen miktarlarda geri kazanılırken EPS malzemesi kullanımında yüzde 98,44 ile 20,81 değerleri arasında değişen miktarlarda geri kazanılmıştır.

Yapılan yalıtımın kazanılan enerji ile ilişki olarak amortisman süresi on yıllık zaman periyoda bağlı hesaplandığında xps malzemesinde 1,27 (yıl) ile 9,66 (yıl) arasında değişmektedir. eps malzemesinin 1,03 (yıl) ile 7,92 (yıl) arasında değişiklik göstermektedir. Amortisman süresini etkileyen temel göstergeler arasında faiz ve enflasyon oranları, yalıtım malzemesini birim fiyatı ve yıllık ısı gereksinimi olarak nitelendirebiliriz.

Yıllık CO₂ ve SO₂ gazlarının yalıtım kalınlığına bağlı değişimleri şekil 5 ve 6 da gösterilmiştir. Yıllık yakıt tüketimi ile yalıtım kalınlığına ters orantılı olup yalıtım kalınlığı arttıkça çevreye salınan zararlı gazların emisyon değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu düşüşteki belirginlik yalıtım malzemesine cinsine göre farklılık göstermekte ve artan yalıtım kalınlığıyla belirginlik kaybolmakta ve durağan bir hal almaktadır.



Şekil 2. Yalıtım kalınlığı ve CO₂ baca gazı emisyonu ilişkisi



Şekil 3. Yalıtım kalınlığı ve SO₂ baca gazı emisyonu ilişkisi

5.Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışmada Türkiye’de uygulama alanına sahip farklı duvar modelleri ve yakıt türleriyle 2.Bölgede yer alan Batman ili için bina ısıtılmasında ve soğutulmasındaki optimum yalıtım kalınlığı değerleri, yıllık kazançlar, geri ödeme süreleri ve çevresel analizler yapılmıştır.

Ortaya konulan sonuçlar neticesinde aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

1-Yapıda tuğla duvar kullanımında ortalama değerler ısıtma ve soğutmada sırasıyla yalıtım kalınlığı 0.0952 m, 0.0512 m; geri ödeme süresi 2.00 yıl, 3.03 yıl; yıllık kazanç 22.92 \$/m², 6.12 \$/m² ve yıllık kazanç oranı % 38.20, % 54.52 olmaktadır.

2-Yapıda izo-tuğla duvar kullanımında ortalama değerler ısıtma ve soğutmada sırasıyla yalıtım kalınlığı 0.0818 m, 0.0379 m; geri ödeme süresi 3.11 yıl, 4.68 yıl; yıllık kazanç 11.03 \$/m², 2.10 \$/m² ve yıllık kazanç oranı % 55.31, % 75.62 olmaktadır.

3-Yapıda bims beton duvar ortalama değerler ısıtma ve soğutmada sırasıyla yalıtım kalınlığı 0.1007 m, 0.0568 m; geri ödeme süresi 1.54 yıl, 2.33 yıl; yıllık kazanç 33.32 \$/m², 9.87 \$/m² ve yıllık kazanç oranı % 30.19, % 43.76 olmaktadır.

4- Yapıda gaz beton duvar ortalama değerler ısıtma ve soğutmada sırasıyla yalıtım kalınlığı 0.0475 m, 0.0036 m; geri ödeme süresi 5.88 yıl, 8.79 yıl; yıllık kazanç 2.24 \$/m², 0.05 \$/m² ve yıllık kazanç oranı % 85.10, % 98.92 olmaktadır.

5- Gaz beton duvarın düşük ısı iletkenliğinden dolayı optimum yalıtım kalınlığı neredeyse yok denecek kadar düşüktür. Bu sebeple 2. İklim bölgesinde gaz beton duvar için yalıtımın işçilik ve kurulum masrafları da dikkate alındığında ihtiyaç duyulmamaktadır.

6-Bims beton duvarın 2. iklim bölgesinde kullanımında yalıtımın uygulaması enerji tasarrufu ve çevresel zarar en aza indirgenmesinde elzemdir.

7-Çevresel analizler açısından optimum yalıtım kalınlığı değerlerinde CO₂ ve SO₂ emisyonunda yalıtımsız duruma göre % 77.30 oranında azalma gerçekleştirilerek çevreci yaşanabilir bir ekosisteme olanak sağlanabilir.

8-Yapılan analizler ve hesaplanan değerler 2.Bölgede bulunan iller içinde kullanılabilir. Bu iller Adapazarı, Çanakkale, İstanbul, Ordu, Tekirdağ, Adıyaman, Denizli, Kahramanmaraş, Rize, Trabzon, Amasya, Diyarbakır, Kilis, Samsun, Yalova, Balıkesir, Düzce, Kocaeli, Siirt, Zonguldak, Bartın, Edirne, Manisa, Sinop, Gaziantep, Mardin, Şanlıurfa, Bursa, Giresun, Muğla ve Şırnak olmaktadır.

9-Yalıtım malzemeleri kıyaslandığından XPS malzemesi birim fiyatının daha yüksek olmasına rağmen düşük ısı iletkenlik sebebiyle tüm durumlar için EPS malzemesine göre optimum nokta kalınlığı daha düşüktür.

10-Türkiye’de son dönemlerde çok hızlı kentleşme olgusu yaşanmaktadır. Oluşturulan yapılar enerji verimliliği standartlarına göre inşa edilmemektedir. İnşaat ruhsatı vermede yetkin olan kurumların bu konuda bilinçli ve duyarlı olması önemlidir.

Bize göre, bu uygulamaların ve sistemlerin yaygınlaşabilmesi yalıtım malzemesi birim fiyatlarının düşmesi ve insanlığın yaşadığı tabiata sahip çıkmasıyla gerçekleşecektir. İnsan toplumları ısrarcı olmadıkları sürece, enerji ihraç eden ülkelerde maddi kazançlarından asla vazgeçmeyeceklerdir.

6. Semboller

| | |
|-------|--------------------------------------------|
| R_i | :İç Yüzeyin Isıl Direncini |
| R_o | :Dış Yüzeyin Isıl Direncini |
| R_w | :Yalıtımsız Duvar Tabakasının Isıl Direnci |

| | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| R_{izo} | :Yalıtım Malzemesinin Isıl Direnci |
| x | :Yalıtım Malzemesinin Kalınlığı |
| k | :Yalıtım Malzemesinin Isıl İletim Katsayısı |
| U | :Toplam Isı Geçiş Katsayısı (W/m^2K) |
| d_{gs} | :Derece Gün Sayısı |
| h_{dd} | :Isıtma İçin Geçen Gün Sayısı |
| c_{dd} | :Soğutma İçin Geçen Gün Sayısı |
| E_A | :Isıtma Veya Soğutma İçin Gerekli Olan Yıllık Enerji İhtiyacı ($J/m^2\cdot yıl$) |
| m_{fA} | :Tüketilen Yıllık Yakıt Miktarı ($kg/m^2\cdot yıl$) |
| $C_{A,H}$ | :Birim Alanı Isıtmak İçin Kullanılan Yıllık Enerji Maliyeti($\$/m^2\cdot yıl$) |
| H_u | :Yakıtın Alt Isıl Değeri (J/kg ; J/m^3 ; J/kwh) |
| η | :Yakıtın Verimi |
| C_f | :Yakıtın Fiyatı ($\$/kg$; $\$/m^3$) |
| p_{wf} | :Gelecek Değer Faktörü |
| N | :Belirlenen Bir Zaman Periyodu |

7.Kaynaklar

1. Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 1-28.
2. Kaynaklı, Ö., Kılıç, M., & Yamankaradeniz, R. (2010). Isıtma ve soğutma süreci için dış duvar optimum yalıtım kalınlığı hesabı. *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, **65**: 39-45.
3. Ertürk, M. (2016). Bina Dış Duvarlarında Farklı Yalıtım Malzemesi ve Hava Boşluğu Kullanımının, Birim Alandaki Enerji Tasarrufu ve Kişi Başı Emisyon Hesaplamalarında Yeni Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **31** (2).
4. Bolatturk A. (2006) Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*; **26(11)**:1301-1309.
5. Kallioğlu, M. A., Zülal, A. R. C. A., Karakaya, H., & Durmuş, A. (2016). Environmental And Economic Analysis Of Optimum Heat Insulation Thickness In Energy Saving. *European Journal Of Technique*, **6** (2): 160-169.
6. Yuan, J., Farnham, C., & Emura, K. (2017). Optimum insulation thickness for building exterior walls in 32 regions of China to save energy and reduce CO₂ emissions. *Sustainability*, **9(10)**: 1711.
7. Işık, E., & Tuğan, V. (2017). Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının

- Hesaplanması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, **3(2)**: 50-57.
8. Dombaycı, Ö., A. (2007). The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*, **42(11)**: 3855-3859.
 9. Arslan O, Kose R. (2006). Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapour in buildings. *Energy and Buildings*; **38 (12)**: 1400-1408.
 10. Mahlia TMI, Taufiq BN, Ismail, Masjuki HH. (2007). Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy and Buildings*, **39(12)**: 182-187.
 11. Hasan A. (1999), Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy*, **63(2)**: 115-124.
 12. Gustafsson SI. (2000), Optimization of insulation measures on existing buildings. *Energy and Buildings*; **33(1)**: 49-55.
 13. Al-Khawaji MJ. (2004), Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation. *Applied Thermal Engineering*, **24(17-18)**: 2601-2610.
 14. Wong IL, Eames PC, Perera RS. (2007), A review of transparent insulation systems and the evaluation of payback period for building applications. *Solar Energy*, **81(9)**: 1058-1071.
 15. <https://www.mgm.gov.tr>, Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri, 15 Şubat 2018
 16. <http://www.izocam.com.tr>, Yalıtım Birim Fiyatları, 18 Şubat 2018.
 17. Shekarchian, M., Moghavvemi, M., Rismanchi, B., Mahlia, T. M. I., & Olofsson, T. (2012). The cost benefit analysis and potential emission reduction evaluation of applying wall insulation for buildings in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16(7)**: 4708-4718.
 18. Ozel, M. (2011). Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Applied Thermal Engineering*, **31(17-18)**: 3854-3863.
 19. Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and Buildings*, **118**: 197-213.
 20. www.dosider.org, Yakıt fiyatları, Erişim Tarihi: 30 Ocak 2018.
 21. <http://www.tcmb.gov.tr/>, Faiz ve Enflasyon Oranları, Erişim Tarihi: 20 Ocak 2018
 22. Hasan, A. (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied Energy*, **63(2)**: 115-124.
 23. Yıldız, A., Gurlek, G., Erkek, M., & Ozbalta, N. (2008). Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Journal of Thermal Science and Technology*, **28(2)**: 25-34.