

Kars İlindeki Binalar İçin Isıtma Yükü ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Meral ÖZEL¹, Dilek TUNÇ

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ
mozel@firat.edu.tr

(Geliş/Received:25.10.2017; Kabul/Accepted:15.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Bu amaçla Kars ilinin meteorolojik verileri kullanılarak ısıtma yükleri derece-gün olarak güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak ve alınmadan hesaplanmıştır. Hesaplamalar yalıtım maliyeti ve binanın 10 yıllık ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan bir maliyet analizine göre yapılmıştır. Bu durumda, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, derece-gün değerleri 18°C denge sıcaklığı için güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak ve alınmadan sırasıyla 3897 ve 4867 °C.gün olarak elde edilmiştir. Kars ili için, bu derece-gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 8 ve 9 cm olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dış ortam sıcaklığı, Güneş ışınımı, Derece-gün, Optimum yalıtım kalınlığı.

Determination of The heating Load and Optimum Insulation Thickness for Buildings in Kars city

Abstract

In this study, optimum insulation thickness of external walls of building in Kars city which is one of the coldest cities of Turkey was determined. For this purpose, heating loads as degree-days were calculated with and without solar radiation by using meteorological data of Kars city. Calculations were done with respect to life-cycle cost analysis over lifetime of 10 years of the building. The optimum insulation thickness with respect to increasing insulation thicknesses was calculated. As result, degree-day values were obtained to be respectively, 3897 and 4867 °C.gün by considering with and without solar radiation for 18°C equilibrium temperature. The optimum insulation thicknesses according to these degree-day values were obtained to be respectively, 8 and 9 cm for Kars city

Keywords: Outdoor temperature, solar radiation, degree-days, Optimum insulation thickness.

1. Giriş

Enerji tüketimi; sanayi, bina, ulaştırma ve tarım gibi dört ana sektör arasında dağılım göstermektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin %35'i konutlarda, %36'sı sanayide, %21'i ulaşımda, %5'i tarımda ve %3'ü ise diğer alanlarda tüketildiği belirtilmektedir. Binalarda ise enerji tüketiminin %80'i ısıtma amaçlı, %10'u mutfak ve banyolarda ve %10'u ise elektrikli ev aletlerinde tüketilmektedir. Konutlarda ısı yalıtımı yapılarak kullanılan enerjinin yaklaşık %50-60'ı tasarruf edilebilmektedir [1].

Bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken,

yalıtım maliyeti ise artacaktır. Bu durumda yalıtım kalınlığının optimum değeri maliyet analizi yapılarak belirlenmelidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde binaların yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimleri genellikle ısıtma derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çomaklı ve Yüksel, Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayılarını esas alarak araştırmışlar [2]. Gölcü vd., Denizli' deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını Derece-Gün sayısını esas alarak hesaplamışlar [3]. Bolattürk, Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve

enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine Derece-Gün sayısı esas alınmıştır [4].

Bolattürk' ün başka bir çalışmasında, Türkiye'nin 4 iklim bölgesinden seçilen 16 Őehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [5]. Hasan, duvarların optimum kalınlığını bulmak için ömür maliyet analizini ve derece gün fikrini kullanmıştır. Sonuç olarak duvar yapısının tiplerine bağlı olarak geri ödeme periyodunun polistiren yalıtımı için 1 ile 1.7 yılları arasında değiştiğini ve taş yünü yalıtımı için ise 1.3 ile 2.3 yılları arasında değiştiğini göstermiştir [6]. Özel ve Şengür, üç farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yakıt türü için Antalya ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma derece-gün sayılarını göz önüne alarak ayrı ayrı hesaplamışlardır [7].

Yamankaradeniz ve Kaynaklı, 4. bölge derecegün il grubunda yer alan örnek bir il için yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak derece-gün sayısını tespit ederek ısıtma sezonunun başlama ve bitiş tarihlerini belirlemişlerdir. Daha sonra ise optimum yalıtım kalınlıklarını farklı derece-gün sayıları, duvar tipleri ve yalıtım malzemeleri için tespit etmişlerdir [8]. Yıldız vd., yapılarda ısı yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel analizini yapmışlar. Bunun için ekonomik analizde kullanılan ısı yükleri derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır [9]. Özel ve Pıhtılı, ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak beş farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir [10].

Bolattürk, binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığı yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayandırılarak analiz edilmiştir. Bunun için yıllık ısıtma ve soğutma derece saatleri hesaplanarak, ekonomik model P1-P2 metoduna göre belirlenmiştir [11]. Kaynaklı, Bursa' daki binaların dış duvarları için 1992' den 2005' e kadar dış hava sıcaklık değerleri dikkate alınarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerleri hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir [12]. Kaynaklı vd., güneş ışınlımını dikkate alarak Farklı yönlere bakan bina dış duvarları için gerekli yalıtım kalınlıklarının değişimini incelemişlerdir [13].

Dağıdır ve Bolattürk, İzmir ili için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir. Hesaplamalarda ısıtma derecesaat sayıları için 18 °C, soğutma derece-saat sayıları için ise 26 °C denge sıcaklığı kullanmışlardır [14].

Bu çalışmada ise, Türkiye'nin en soğuk Şehirlerinden biri olan Kars ilindeki bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Bu amaçla ilk önce Kars ilinin meteorolojik verileri kullanılarak ısıtma yükleri derece-gün ve derece-saat olarak ve güneş ışınlım değerleri de dikkate alınarak belirlenmiş ve daha sonra bu değerleri kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları binanın 10 yıllık ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan bir maliyet analizine göre hesaplanmıştır.

2. Kars ilinin ısıtma periyodunun tespiti

Bu çalışmada Kars ilinin Isıtma Periyodu belirlenirken güneş ışınlım dikkate alınmadan ve güneş ışınlım Şiddeti dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

1.Yöntem

Bu yöntemde Derece-Gün (DG) değerleri sadece dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_o)^+ \quad (1)$$

Burada T_i denge sıcaklığı, T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Parantezin üzerindeki + işareti ise sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir.

2.Yöntem

Bu yöntemde ise dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınlım Şiddeti göz önüne alınarak eşdeğer çevre sıcaklığı ve denge sıcaklığına göre Derece-Gün değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_e)^+ \quad (2)$$

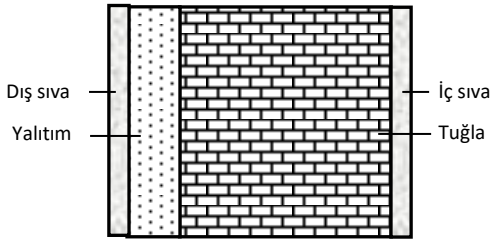
T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış hava sıcaklığıyla güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır (Threlkeld, 1998):

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{\alpha \cdot I(t)}{h_o} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_o} \quad (3)$$

Burada T_o dış hava sıcaklığı ve α dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı olup 0.6 alınmıştır. h_o değeri dış ortamın taşınım katsayısı olup 22 W/m²K alınmıştır. $\varepsilon \cdot \Delta R/h_o$ uzun dalga ışınım için düzeltme faktörü olup yatay yüzeyler için 4 °C ve dik yüzeyler için de 0 °C olarak kabul edilmiştir (Threlkeld, 1998). I ise güneş ışınım şiddeti olup meteorolojiden temin edilmiştir.

3. Dış duvarların yapısı

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için şekil 1.' de görülen dıştan yalıtımlı bir duvar yapısı ele alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi duvar; dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva ($k=0.72$ W/mK), 20 cm kalınlığında tuğla ($k=0.62$ W/mK) ve yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır.



Şekil 1. Dış duvarların yapısı

4. Dış duvarların ısı kazanç ve kaybı

Binalardaki ısı kazanç ve kayıpları genel olarak dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemeler ile hava infiltrasyonu sonucu gerçekleşmektedir. Ancak bu çalışmada sadece dış duvarlarda oluşan ısı kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kazanç ve kaybı aşağıdaki şekildedir:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (4)$$

Burada U toplam ısı transfer katsayısı ΔT ise gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Bu durumda derece-gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kazanç ve kaybı,

$$q_A = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (5)$$

şeklinde dir. Duvarın toplam ısı transfer katsayısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_y + R_o} \quad (6)$$

Burada R_i ve R_o iç ve dış ortamın ısı dirençleri, R_w yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direncidir. R_y ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$R_y = \frac{x}{k} \quad (7)$$

Burada x yalıtım malzemesinin kalınlığı, k ise ısı iletkenliğidir. R_{wt} yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direnci olmak üzere toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibidir:

$$U = \frac{1}{R_{wt} + (x/k)} \quad (8)$$

Duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısı sırasıyla 6 ve 22 W/m²K olarak alınmış ve $R_{wt}=0.5903$ m²K/W olarak elde edilmiştir.

5. Optimum yalıtım kalınlığı için maliyet analizi

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulanarak ısı kazanç ve kaybı önemli ölçüde azaltılmış olur. Bu durumda enerji tasarrufu açısından yalıtımın optimum kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Yalıtımın optimum kalınlığı, yalıtım maliyeti ve binanın ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan minimum toplam maliyeti sağlayan değerdir Bu yüzden maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmelidir. Isıtma için yıllık enerji maliyeti aşağıdaki gibidir:

$$C_A = \frac{86400U.DG.C_f}{H_u \cdot \eta} \quad (9)$$

Burada, C_f , C_e , H_u ve η ise sırasıyla yakıt fiyatı (TL/kg), elektriğin fiyatı (TL/kWh), yakıtın alt ısıl değeri (J/kg) ve ısıtma sisteminin verimidir. Bu durumda yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_t = C_A \cdot PWF + C_y \cdot x \quad (10)$$

Burada C_y ve x sırasıyla, yalıtımın fiyatı (TL/m³) ve kalınlığıdır. C_A birim yüzey için yıllık ısıtma maliyetidir. Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken, N yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti şimdiki değer faktörü (PWF) ile birlikte değerlendirilmelidir. PWF , faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \begin{cases} i > g & r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g & r = \frac{g-i}{1+i} \end{cases} \quad (11)$$

Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti veren (9) nolu denklemin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak aşağıdaki gibi elde edilir

$$x_{op} = 293.94 \cdot \left(\frac{DG.C_f.PWF.k}{C_y.H_u \cdot \eta} \right)^{1/2} - k.R_{wt} \quad (12)$$

Maliyet hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan parametreler [16-18].

Parametre	Değeri
Yakıt: Doğal Gaz	
Fiyatı	0.92 TL/m ³
H_u	34.526*10 ⁶ J/kg
η	% 92
Yalıtım: XPS	
k	0.029 W/mK
Fiyatı	240 TL/m ³
R_{wt}	0.5903 m ² K/W
Faiz oranı, (i)	% 12
Enflasyon oranı, (g)	% 9
N	10 yıl

6. Sonuçlar ve değerlendirme

Bu çalışmada; ilk olarak Kars ili için ısıtma periyodu, güneş ışınımı dikkate alınarak ve alınmadan belirlenmiş. Daha sonra ise elde edilen derece-gün (veya derece-saat) değerlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Isıtma periyodunu belirleyebilmek için meteorolojiden Kars iline ait yaklaşık 10 yıllık dış ortam sıcaklığı ve güneşlenme şiddeti verileri kullanılmıştır. İlk olarak güneş ışınımı dikkate alınmadan sadece dış ortam sıcaklığı verileri kullanılarak ısıtma periyodu belirlenmiş. Daha sonra ise güneş ışınımı değerlerinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklığına göre ısıtma periyodu ve dolayısıyla derece gün değerleri tespit edilmiştir. Kars ilinin dış hava sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi Şekil 2 ve 4' de görülmektedir. Bu çalışmada ısıtma periyodu için iki farklı denge sıcaklığı (15 ve 18 °C olarak) alınmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi, sezonun başlangıç ve bitiş noktaları, eğrinin kesim noktaları olup 15 °C denge sıcaklığı için, sırasıyla yılın 249. (6 Eylül) ve 160. (9 Haziran) günleridir. Yani teorik olarak ısıtma sezonu 6 Eylül de başlamakta ve 9 Haziran tarihinde ısıtma son bulmaktadır. Şekil 3 ve 5 ise sırasıyla 15 ve 18 °C denge sıcaklıkları için Derece gün değerlerinin yıl boyunca değişimini göstermektedir. Şekil 3 de görüldüğü gibi yılın 160. ve 249. günleri arasında ısıtma yapılmadığından Derece gün (DG) sıfırdır. Her gün için bulunan DG değerleri toplandığında 15 °C denge sıcaklığı için DG=4867 °C.gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 de görüldüğü gibi, 18 °C denge sıcaklığı için ise, sezonun başlangıç ve bitiş yılın sırasıyla 232. (20 Ağustos) ve 182. (1 Temmuz) günlerine denk gelmektedir. Kars ilinin eşdeğer çevre sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi ise 15 ve 18 °C denge sıcaklıkları için sırasıyla Şekil 6 ve 7' de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, sezonun başlangıç ve bitiş noktaları, 15 °C denge sıcaklığı için, sırasıyla yılın 266. (23 Eylül) ve 128. (8 Mayıs) günleridir. Yani ısıtma sezonu 23 Eylül de başlamakta ve 8 Mayıs tarihinde son bulmaktadır.

Kars ilinin ısıtma periyodu iki farklı denge sıcaklığı (15 ve 18 °C olarak) için güneş ışınımı dikkate alınmadan sadece dış ortam sıcaklığı verileri kullanılarak ve güneş ışınımı

değerlerinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklığına göre Tablo 2-3' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sadece dış ortam sıcaklığına göre ısıtma periyodunun tespiti

SITMA PERİYODU		
Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü
15°C	249. gün (6 Eylül)	160. gün (9 Haziran)
18°C	232. gün (20 Ağustos)	182. gün (1 Temmuz)

Görüldüğü gibi güneş ışınımının dikkate alınmasıyla ısıtma periyodu kısalmaktadır. 15 °C denge sıcaklığı için güneş ışınımı dikkate alınmadığında 6 Eylül - 9 Haziran arasında ısıtma yapılması gerekirken güneş ışınımı dikkate alındığında 23 Eylül - 8 Mayıs arasında ısıtma yapılması gerektiği görülmektedir. Buda yaklaşık 45 günlük enerji tasarrufu demektir.

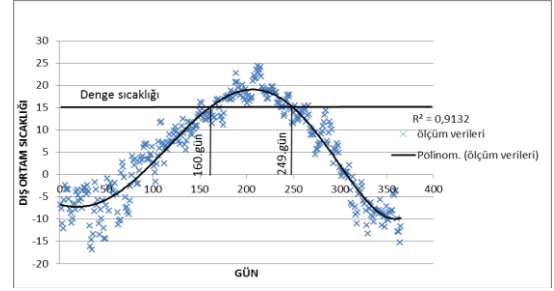
Tablo 3. Eşdeğer çevre sıcaklığına (güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklığı) göre ısıtma periyodunun tespiti

ISITMA PERİYODU		
Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü
15°C	266. gün (23 Eylül)	128. gün (8 Mayıs)
18°C	250. gün (7 Eylül)	144. gün (24 Mayıs)

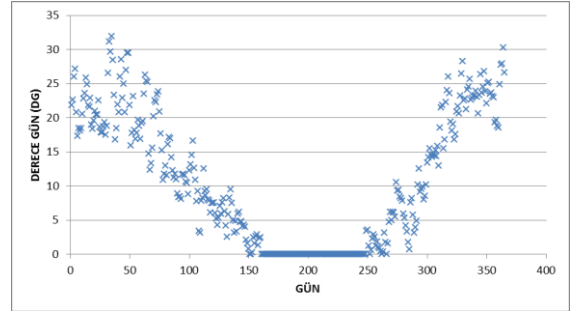
Denge sıcaklıklarına göre belirlenen Derece-Gün değerleri güneş ışınımsız ve ışınımlı olarak Tablo 4' de ayrıca gösterilmiştir. Bu değerler daha sonra optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için maliyet analizi hesaplamalarında kullanılmıştır.

Tablo 4. Denge sıcaklıklarına göre belirlenen Derece-Gün Sayıları (°C.gün)

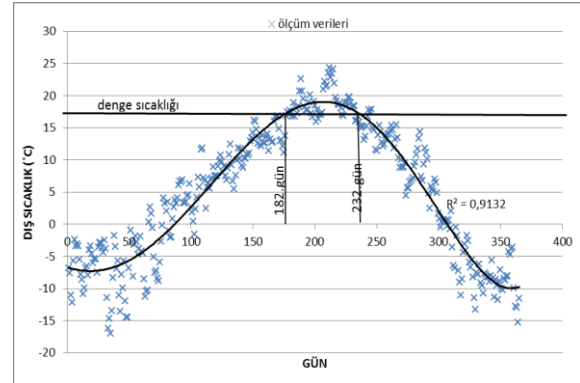
Denge sıcaklığı	Derece-Gün sayısı, (°C.gün)	
	Güneş ışınımı ihmal	Güneş ışınımı varken
15 °C	3932	3199
18 °C	4867	3897



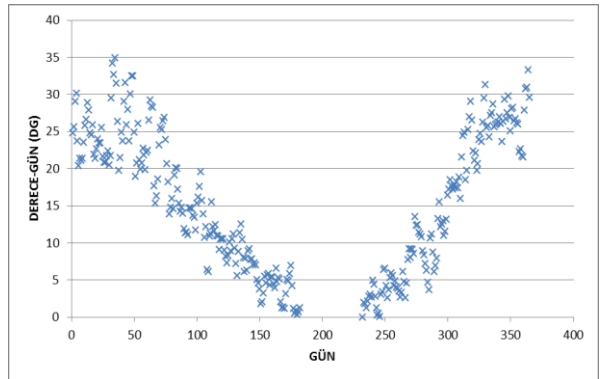
Şekil 2. Kars ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



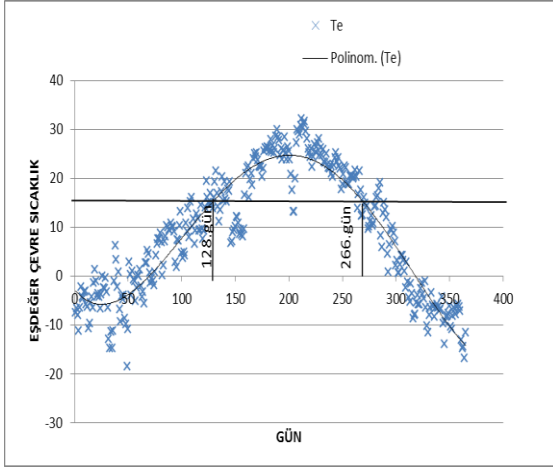
Şekil 3. Derece-Gün (DG) değerlerinin değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



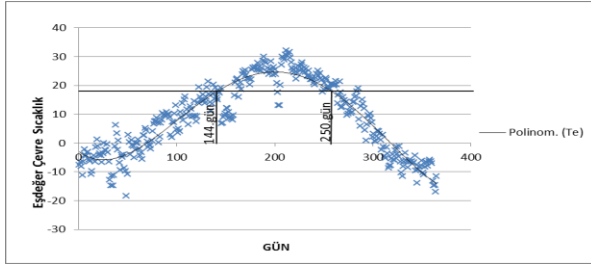
Şekil 4. Kars ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



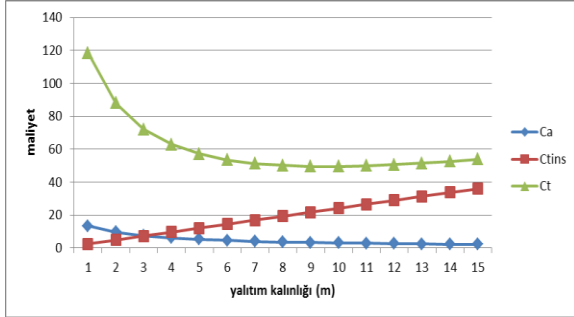
Şekil 5. Derece-Gün değerlerinin değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



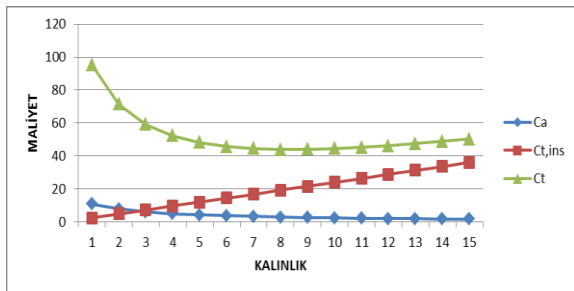
Şekil 6. Kars ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=15^\circ\text{C}$)



Şekil 7. Kars ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



Şekil 8. Yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi (Güneş ışınımı yokken $DG=4867^\circ\text{C.gün}$ için)



Şekil 9. Yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi

(Güneş ışınımı varken $DG=3897^\circ\text{C.gün}$)

Şekil 8 ve 9 Kars ilinde 18°C denge sıcaklığı için sırasıyla güneş ışınımı yokken ve dikkate alındığında yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi artan yalıtım kalınlığı ile yakıt maliyeti azalırken yalıtım maliyeti ise lineer olarak artmaktadır. Toplam maliyet ise belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Dolayısıyla toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Burada Kars ili için optimum yalıtım kalınlıkları, güneş ışınımı yokken ve dikkate alındığında sırasıyla 9 ve 8 cm olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak güneş ışınımının dikkate alınması ile, optimum yalıtım kalınlığının 1 cm daha az elde edildiği görülmüştür. Buda yalıtım malzemesi için harcanan maliyetten tasarruf edilmesi demektir.

7. Semboller

- C_A :Toplam yıllık enerji maliyeti, (TL/m^2 yıl)
- C_f :Yakıt fiyatı, (TL/kg)
- C_y :Yalıtımın fiyatı, (TL/m^3)
- DG :Derece-gün sayısı, ($^\circ\text{C.gün}$)
- g :Enflasyon oranı
- H_u :Yakıtın alt ısıl değeri, (J/kg)
- I :Güneş ışınım şiddeti, (W/m^2)
- i :Faiz oranı
- k :Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
- N :Ömür (yıl)
- x :Yalıtımın kalınlığı, (m)
- PWF :Şimdiki değer faktörü
- R_{wt} :Yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısıl direnci, ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
- T_i :Denge sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- T_o :Dış hava sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- T_e :Eşdeğer çevre sıcaklığı, ($^\circ\text{C}$)
- U : Duvarın toplam ısı transfer katsayısı, ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

8. Kaynaklar

1. Kaya, M., Fırat, İ. Ve Çomaklı, Ö., (2016). Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36, 1, 47-55.
2. Çomaklı, K. and Yüksel, B., (2003). Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving. *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.
3. Gölcü, M., Dombaycı, Ö. A. ve Abalı S., (2006). Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21(4), 639-644.
4. Bolattürk, A., (2003). Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 41-47.
5. Bolattürk, A.,(2006). Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
6. Hasan, A.,(1999). Optimizing Insulation Thickness for Buildings using Life Cycle Cost. *Applied Energy*, 63, 115-124.
7. Özel, M., Şengür, S., (2013), Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 6-11.
8. Yamankaradeniz, R. ve Kaynaklı, Ö., (2007). Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir, 187-195.
9. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N.,(2008). Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2): 25-34.
10. Özel, M., Pıhtılı, K.,(2008). Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3): 191-198.
11. Bolattürk, A., (2008). Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey. *Building and Environment*, 43: 1055-1064.
12. Kaynaklı, O., (2008). A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness. *Renewable Energy*, 33, 1164-1172.
13. Kaynaklı, O., Özdemir S. ve Karamangil, M.İ.,(2012). Güneş Işınımı ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 27 (2): 367-374.
14. Dağdır, C. ve Bolattürk, A., (2011), Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 17 (124): 64-77.
15. Threlkeld, J.L., (1998). *Thermal Environmental Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
16. İZOCAM fiyat listesi. <http://www.dosider.org>.
17. <http://www.dosider.org>.
18. <http://www.tcmb.gov.tr>.