

Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Erdem Işık*, Volkan Tuğan

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

*E-mail: erdem@munzur.edu.tr

Makale gönderme tarihi: 17.07.2017, Makale kabul tarihi: 29.11.2017

Öz

Bu çalışmada, Tunceli, Hakkâri ve Kars illeri için derece-gün (DG) yöntemi kullanılarak dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı araştırılmıştır. Faiz ve enflasyon oranları dikkate alınarak toplam maliyet ve yalıtım maliyeti hesaplanmış ve bu değerlerin optimum yalıtım kalınlığı ile değişimi incelenmiştir. Duvar kalınlığına, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına, yakıt tipine ve derece-gün değerine göre maliyet eğrileri oluşturulmuş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Isı kayıplarını en aza indirmek ve maliyeti en düşük düzeyde tutmak amacıyla, binalarda yapılacak yalıtımın enerji verimliliği, sağlık, güvenlik, konfor ve bütçe konusunda nasıl bir etkiye sahip olduğu araştırılmıştır. Neticede Tunceli için optimum yalıtım kalınlığı 7.9 cm hesaplanırken, Hakkâri ve Kars için 8.2 cm ve 10.4 cm olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, yakıt türü, yalıtım kalınlığı

The Calculation of the Optimum Wall Thickness for Heat Isolation in The Provinces of Tunceli, Hakkâri, and Kars

Abstract

Optimum insulation thickness to be applied on outer walls using degree-day (DD) methods for the cities of Tunceli, Hakkâri and Kars was researched in this study. Total cost and insulation cost were calculated taking interest and inflation rates into account and the change of these values depending on insulation thickness was examined. Cost curves were created according to wall thickness, thermal conduction coefficient of the insulation material, fuel type and degree-day value and payback periods were calculated. To minimize heat abductions and to keep the cost at the lowest level, the effect of insulation in the buildings on energy productivity, health, safety, comfort and budget. As a result, while the optimum insulation thickness for Tunceli was obtained to be 7.9 cm, the optimum insulation thickness for Hakkâri and Kars were obtained to be 8.2 and 10.4 cm.

Keywords: Optimization, fuel type, thickness of insulation

GİRİŞ

Isı transferi, termodinamik yasalarına göre her zaman farklı sıcaklıklara sahip ortamlar arasında meydana gelir. Ortaya çıkan ısı alışverişi, sıcak olan bölgeden daha düşük sıcaklığa sahip bölgeye doğru gerçekleşir. Isı yalıtımı ise yapının mimari ve statik konstrüksiyonuna göre yapıyı oluşturan elemanların ısı geçirgenlik dirençlerinin yeterli olmaması durumunda, farklı sıcaklıktaki ortamlar arasında gerçekleşen ısı transferini düşürmek ve soğutma-ısıtma giderlerini azaltmak için ısı iletkenliği düşük malzemelerle yapı elemanlarının yalıtılması olarak tanımlanır. Kısaca ısı yalıtımı enerji tasarrufu demektir. Aytaç ve Aksoy (2006), Kürekçi ve ark. (2012), Özel (2013) tarafından Türkiye için optimum

yalıtım kalınlıkları ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Tasarruf, yeryüzündeki canlıların hayatlarını devam ettirebilmesi için tükettikleri herhangi bir kaynağı dikkatli ve idareli kullanması olarak adlandırılır. İnsanların yaşayabilmesi için gerekli bütün kaynakların bir gün tükenerek olması göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir tehlikedir. Bu tehlikenin önlenmesi için gerek eğitim alanında gerekse sosyal çevrede insanların enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmeleri gerekmektedir. Özellikle Türkiye fosil enerji kaynakları bakımından kendi başına yeterli değildir. İhtiyaç olan enerjinin yarısından fazlası ithal edilmektedir. Bu enerjinin de yaklaşık olarak % 35 ile %40'ı konut ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle ısı yalıtımı enerji

tasarrufu açısından çok kritik öneme sahiptir. Bu yüzden TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı ve daha sonra çıkarılan “Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliği” ile ısı yalıtımı uygulamalarının denetimi, Yapı Denetim Kuruluşlarına verilmiştir. Bu uygulama sayesinde yalıtımın yapılması ve kontrolü zorunlu hale getirilmiştir (Bulut ve ark., 2001; Yıldırım, 2012).

Bir yapı fiziği kolu olan yalıtım, herhangi bir yapı içerisindeki şartları düzenlemek ve kontrol altında tutabilmek için yapılması gereken tedbirleri baz alır. Isı yalıtım malzemeleri kullanılacağı alandaki şartlar dikkate alınarak seçilir. Düşük ısı iletim katsayısına, yüksek mukavemete, yeterli derecede çekme dayanımına ve kimyasal etmenlere karşı dayanıklılığa sahip olması ısı yalıtım parametrelerinden bazılarıdır. Seçilen doğru parametrelerle ısı yalıtım işlemi gerçekleştirildiğinde geri ödeme süresi 3-5 yıl arasında değişebilecek şekilde yaklaşık %50 tasarruf elde edilebilir (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007). Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve metreküp (birim) başına düşen tutarları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları

Yalıtım malzemesi	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	Fiyat (TLm ⁻¹)
XPS	0.029	230
EPS	0.036	115
Cam Yünü	0.038	160
Taş Yünü	0.042	120

Ülkemizde yapı ve konut alanında enerjinin yaklaşık %30’unun tüketiliyor olması, önemli bir artırım potansiyeli olduğunun göstergesidir. Bu sebeple enerji tasarrufunu konu alan çalışmalarda özellikle yapı sektörü önceliklidir. Son 50 yıldır birçok ülke binalar için farklı standartlar ve düzenlemeler geliştirmiştir. Mevcut standartlar, ilerleyen yalıtım teknolojisiyle birlikte sürekli olarak yenilenmektedir (Yıldırım, 2012). Literatürde binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için farklı yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Balo ve ark. (2011), çalışmalarında Türkiye’de İzmir,

Diyarbakır, Uşak ve Bayburt gibi dört farklı iklim yapısına sahip şehir seçerek bu bölgelerde binalarda dış duvarların yalıtımı için kullanılan malzemelerin optimum kalınlığını belirlemek amacıyla üç farklı yöntem kullanmışlardır. İlk yöntem olarak enerji maliyetlerini inceleyen derece gün yöntemi kullanılmıştır. İkinci yöntem ise hem yalıtım hem de yakıt maliyetini baz alan termoeconomik optimizasyon yöntemidir. Son olarak üçüncü yöntem ise Türkiye şartlarında binaların optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan TS 825 standardı yöntemidir. Bu yapılan çalışmalar sonucunda şehirlere ve optimizasyon metodlarına göre ideal yalıtım kalınlığı bulunmuştur. Yoon ve ark. (2003), Kore koşullarında farklı iklime sahip bölgelerde optimum yalıtım kalınlığını analiz etmek amacıyla termal kütleli de dikkate alarak ısı depolama sistemlerinin toplam soğutma üzerindeki etkisini yalıtım tekniklerine göre belirlemiştir. Bulut ve ark. (2007), Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Buna ek olarak enleme, boylama ve deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin değişimini tespit etmişlerdir. Büyükcalaca ve ark. (2001) Türkiye için derece-gün ısıtma ve soğutma için değişken temelli analiz sunmuşlardır.

Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini baz alarak, Türkiye’nin iç bölgelerinin kuzeydoğusunda ve tüm Türkiye boyunca büyük dalgalanmaların mevcut olduğunu ve karşılaştırma yapıldığında daha fazla ısı enerjisi gereksinimi olduğunu belirlemişlerdir. Şişman ve ark. (2007), Türkiye’nin dört farklı iklim bölgesindeki birer şehir için derece gün değerlerini kullanarak ömür maliyet analiziyle yalıtım yapılan duvarlarda yıllık enerji kazancını hesaplamışlardır. Al-Sanea ve ark. (2012), Riyad’ın iklim şartlarını dikkate alarak dinamik şartlar altında elektrik tarifesinin bina duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığına olan etkisini incelemişlerdir. Hesaplanan sonuçlar, değişik elektrik tarifeleri için, minimum toplam maliyetin optimum yalıtım kalınlığı ile doğru orantılı olarak değiştiğini göstermiştir. Bolattürk (2006), binalarda dış duvarların yalıtılmasını farklı iklime sahip şehirler için araştırmıştır. Optimum yalıtım kalınlığını, farklı yakıt tipleri ile ömür maliyet analiz yöntemini kullanarak geri

dönüşüm periyodunu ve enerji kazancının miktarını belirlemiştir. Optimum yalıtım kalınlığının, 2 ile 17 cm, geri dönüşüm periyodunun 1.3 ile 4.5 yıl, enerji kazancının ise %22 ile %79 değerleri arasında olduğunu hesaplamıştır. Bu çalışmada ise seçilen bölgeler üzerinde derece-gün yöntemi esas alınıp, bazı parametreler hesaba katılarak her bölge için ayrı ayrı yalıtım kalınlıkları hesapları ve geri ödeme sürelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Simge Listesi

- A_s = Yıllık maliyet farkı (TL m⁻²)
 C_A = Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti (TLm⁻²-yıl)
 C_f = Yakıtın birim fiyatı (TL kg⁻¹)
 C_{ins} = Yalıtım malzemesinin maliyeti (TL m⁻²)
 C_t = Toplam ısıtma maliyeti (TL m⁻²)
 $C_{t,ins}$ = Yalıtımın toplam maliyeti (TL m⁻²)
 C_{tl} = Yalıtılmamış bir mahalın maliyet hesabı (TL m⁻²-yıl)
 E_A = Yıllık enerji miktarı (Jm⁻²- yıl)
 g = Enflasyon oranı
 h_i = İç taraftaki ısı taşınım katsayısı (Wm⁻² K)
 H_u = Yakıtın alt ısıl değeri (Jkg⁻¹)
 h_0 = Dış taraftaki ısı taşınım katsayısı (Wm⁻² K)
 m_f = Yıllık yakıt tüketimi (kg yıl⁻¹)
 PP = Geri ödeme süresi (yıl)
 r = Gerçek faiz oranı
 $R_{dış}$ = Dış ortam havasının ısıl direnci (m²KW⁻¹)
 $R_{iç}$ = İç ortam havasının ısıl direnci (m²KW⁻¹)
 $R_{t,w}$ = Yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısıl direnci (m²KW⁻¹)
 R_w = Duvarın ısı iletim direnci (m² KW⁻¹)
 U = Toplam ısı transfer katsayısı (W m⁻²K⁻¹)
 q = Isı kaybı (W m⁻²)
 x = Yalıtım materyalinin kalınlığı (m)
 x_{opt} = İdeal yalıtım kalınlığı (m)
 η = Yakma sisteminin verimi
 k = Isı iletim katsayısı (W m⁻¹K⁻¹)
 DG = Derece-gün sayısı (°C gün)
 IDG = Isıtma derece-gün sayısı (°C gün)
 SDG = Soğutma derece-gün sayısı (°C gün)
 T_b = Denge sıcaklık (°C)
 T_i = İç ortamın dizayn sıcaklığı (°C)
 N = Isıtmanın yapıldığı toplam gün sayısı
 T_0 = Günlük ortalama çevre hava sıcaklığı (°C)
 PV = Günümüzdeki değer

$T_{0,min}$ = Gün içinde kaydedilen en düşük sıcaklık (°C)

$T_{0,max}$ = Gün içinde kaydedilen en yüksek sıcaklık (°C)

LT = Yapının çalışma ömrü (yıl)

Derece-Gün Yöntemi

Derece-gün (DG) yöntemi enerji gereksinimini tahmin etmek için kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde DG değeri belirlenirken bir denge sıcaklığı referans alınır. Referans olarak alınan denge sıcaklığı, binaya giren aydınlatma, insan, güneş ışınımı gibi ısı kaynaklarıyla ve binadan çıkan ısı kayıplarının eşit olduğu sıcaklık olarak adlandırılır. Bu yüzden DG değerini duvarın tipi, güneş ışınımı, meydana gelen hava sızıntıları ve yalıtım durumu gibi binanın yapısal özellikleri, bölgenin iklim şartları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok parametre etkilemektedir. Türkiye'deki 81 ilin merkezleri için DG sayılarının bulunmasında, uzun yılların sıcaklık verileri dikkate alınmıştır. Belirlenen DG sayıları referans olarak alınan sıcaklıklara bağlıdır ve yapıdan yapıya değişiklik gösterebilir. Bu değişiklik iç mahalın sıcaklığına, yapının ısıl karakteristiklerine ve yapının kullanım amacına göre farklılık gösterebilir. Bu çalışmada denge sıcaklığı $T_b = 18^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır. Isıtma mevsimi için DG hesaplanmasında Eşitlik 1 ve 2 dikkate alınır (Büyükalca ve ark., 2001; Dilmaç ve Kesen, 2003; Özel, 2007; Uçar ve Balo, 2010).

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_0) \quad (T_0 \leq T_b) \quad (1)$$

$$DG = 0 \quad (T_0 > T_b) \quad (2)$$

Burada T_i iç ortamın dizayn sıcaklığı, T_0 günlük ortalama çevre hava sıcaklığı ve N ısıtmanın yapıldığı toplam gün sayısıdır. Günlük ortalama çevre hava sıcaklığı, gün içinde ölçülen en yüksek ve en düşük sıcaklıkların aritmetik ortalaması alınarak belirlenir. Burada $T_{0,min}$ ve $T_{0,max}$ sırasıyla gün içinde kaydedilen en düşük ve en yüksek sıcaklıklardır.

$$T_0 = \frac{T_{0,min} + T_{0,max}}{2} \quad (3)$$

Isıtma gün-dereceleri (IDG), 24 saatlik periyodun ne kadarının soğuk geçtiğini ölçmek için çevre ve mahal sıcaklığını dikkate alarak soğukun büyüklüğünü izah eder. Aynı şekilde soğutma gün-dereceleri (SDG) ise belirli bir zamanda dış ortam sıcaklığını dikkate alarak sıcaklığın büyüklüğünü açıklar (Uçar, 2010).

Isı Kayıpları ve Enerji Gereksinimi

Birim alan için duvarın dışa bakan kısmında meydana gelen kayıp 4 ve 5 denklemleri kullanılarak bulunur. DG ifadesinden yararlanarak ısı kaybının senelik miktarı birim alan için Eşitlik 5 ile hesaplanabilir.

$$q = U \cdot (T_b - T_0) \quad (4)$$

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

Birim alan için duvarın dışa bakan kısmında meydana gelen kayıp nedeniyle yıllık enerji sarfiyatı 6 numaralı eşitlik ile tespit edilebilir.

$$E_A = 86400 \cdot DG \cdot U / \eta \quad (6)$$

Yalıtımlı klasik bir duvar dikkate alındığında ısı taşımının toplam değeri aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır:

$$U = \frac{1}{1/h_i + R_w + x/k + 1/h_0} \quad (7)$$

Burada yapının ısı film katsayıları için $h_i = 8.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h_0 = 34.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ parametreleri göz önüne alınmıştır. Yalıtımsız duvarın ısıl direnci dikkate alınarak Eşitlik 7 yeniden düzenlenecek olursa

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

denklemini elde edilir. Yıllık enerji ihtiyacı ise

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{t,w} + x/k)\eta} \quad (9)$$

denkleminde elde edilir. Eşitlikte η verimi göstermektedir ve ihtiyacımız olan yıllık yakıt miktarı aşağıdaki eşitlik ile tespit edilebilir.

$$m_f = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_U \cdot \eta} \quad (10)$$

Maliyetler ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Yakıtın yıllık sarfiyatının hesaplanmasının akabinde bulunan değerler güncel yakıt fiyatı (C_f) ile çarpılması bize yakıt ile ilgili tutarı verir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (11)$$

Yaptığımız çalışmada, yapının çalışma ömrü için enerji maliyetinin hesaplanmasında maliyet-ömür analizi kullanılmıştır. Isıtmanın toplam maliyetini bulurken çalışma ömrü (LT) ve günümüzdeki değer (PV) beraber dikkate alınarak gerçek faiz oranı hesaplanmaktadır. Faizin gerçek oranı denklem 12 ile elde edilir.

$$r = (i - g) / (1 + g) \quad (12)$$

Burada r gerçek faiz oranı, g enflasyon ve i notasyonu ise faizi temsil etmektedir. Bu durumda PV;

$$PV = \frac{(1 + r)^{LT} - 1}{r \cdot (1 + r)^{LT}} \quad (13)$$

olarak bulunur. Burada LT yapının çalışma ömrüdür ve genelde 10 yıl kabul edilir. Toplam yalıtım maliyeti ($C_{t,ins}$) ise 14 eşitliğinde verilmiştir.

$$C_{t,ins} = C_{ins} \cdot x \quad (14)$$

Neticede ısıtma maliyeti

$$C_t = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PV}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{t,ins} \quad (15)$$

denkleminde bulunur. Isıtma maliyeti denkleminin yalıtım miktarına (x) göre türevinin sıfıra eşitlenmesiyle ideal yalıtım kalınlığı tespit edilir.

$$x_{opt} = 293.94 \frac{(DG \cdot C_f \cdot k \cdot PV)^{1/2}}{(H_u \cdot C_{ins} \cdot \eta)^{1/2}} \quad (16)$$

$$C_t = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PV}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{t,ins} \quad (17)$$

Eşitlik 17 ile hesaplanan “ C_t ” değeri yalıtılmış bir mahalın toplam maliyet hesabıdır. Yalıtılmamış bir mahalın maliyet hesabı ise C_{tl} ile hesaplanır.

$$C_{tl} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PV}{(R_{t,w}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (18)$$

Yıllık maliyet farkı A_s ve geri ödeme süresi PP ise

$$A_s = C_{tl} - C_t \quad (19)$$

$$PP = \frac{C_t}{A_s} \quad (20)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır.

Çizelge 2. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (URL-1, 2016)

Parametre	Değer
Yakıt: Kömür	
C_f	1.14 TL kg^{-1}
H_u	7000 kcal kg^{-1}
η	0.65
Yakıt: Doğalgaz	
C_f	1.0448015 TL m^{-3}
H_u	8250 kcal m^{-3}
η	0.93
r	14.5
g	11.14
LT	10 yıl

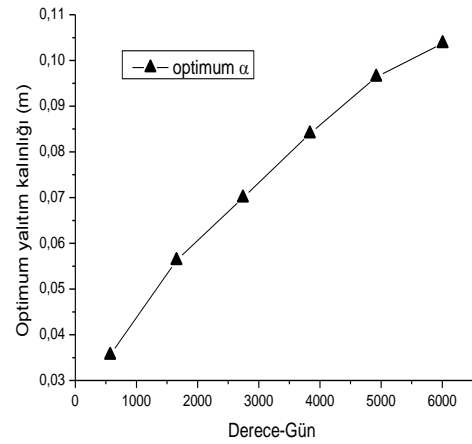
BULGULAR VE TARTIŞMA

Optimum yalıtım kalınlığı araştırılan şehirlerin ilk olarak derece-gün (DG) değerinin bilinmesi gerekir. Aşağıdaki çizelgede Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin 14, 16 ve 18 °C denge noktası sıcaklıkları için yıllık IDG değerleri gösterilmiştir (Bulut ve ark., 2007).

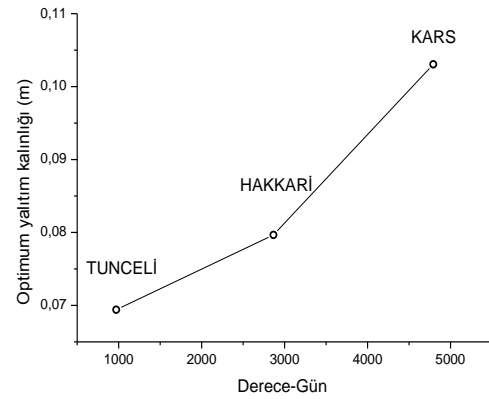
Çizelge 3. Yıllık ısıtma derece-gün değerleri (Bulut ve ark., 2007)

İller	14 °C	16 °C	18 °C
Tunceli	1880	2280	2716
Hakkâri	2543	2986	3470
Kars	3573	4145	4772

DG değerlerinin 1000 ile 6000 arasında değişmesinin optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki değişimi Şekil 1’de verilirken, Şekil 2’de ise Tunceli, Kars ve Hakkâri illeri için ideal yalıtım kalınlığı, DG yönteminden bulunan verilere göre tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra Şekil 3’te ise üç ilin ısıtma sezonuna göre toplam ve yalıtım maliyetinin ideal yalıtım kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Binaların dış duvarlarına uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça, binanın ısı kaybı ve buna bağlı olarak da ısıtma yükü azalır.



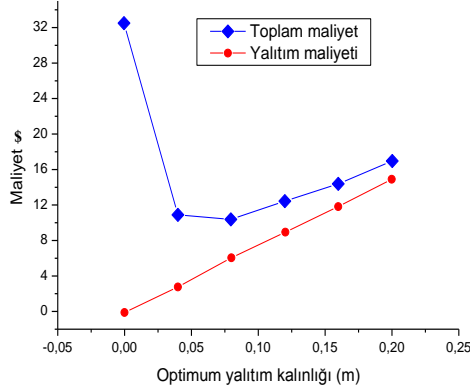
Şekil 1. Optimum yalıtım kalınlığının DG ile değişimi



Şekil 2. Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlığının DG ile değişimi

Bu da yakıt maliyetinin azalacağını göstermektedir. Ancak yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Bununla birlikte, yalıtım kalınlığının artması yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyette artışa neden olur. Bu artış, optimum yalıtım kalınlığına kadar orantılı bir şekilde devam eder. Bu değerden sonra, gereksiz

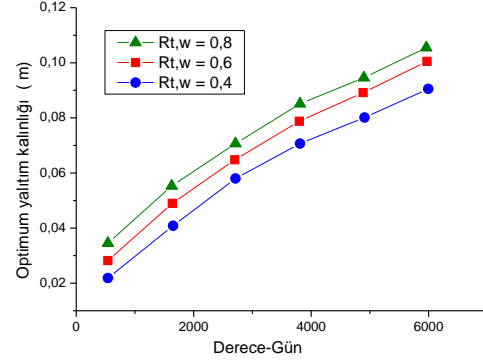
yere artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak, yalıtım maliyeti ve dolayısıyla toplam maliyette bir artış görülür (Ogulata, 2002; Aytaç ve Aksoy, 2006). Farklı duvar tiplerinden elde edilen farklı ısı iletim katsayılarına göre optimum yalıtım kalınlıklarının derece-gün değerlerine göre kıyaslanması ise Şekil 4'te gösterilmektedir.



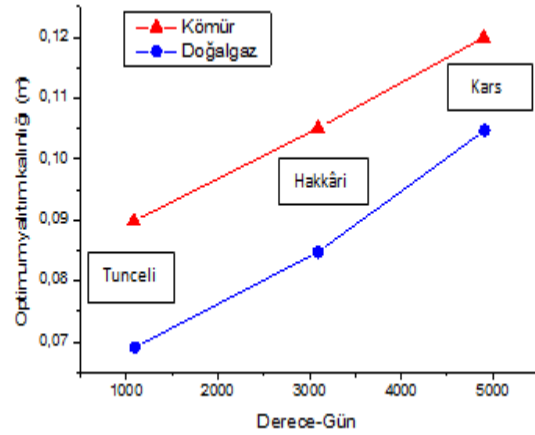
Şekil 3. Toplam maliyet ve yalıtım maliyetinin optimum yalıtım kalınlığı ile değişimi

Burada 0,4'den 0,8 m² KW⁻¹ değerine kadar değişen üç farklı ısı dirence sahip duvar için optimum yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Duvarın ısı direnci arttıkça gerekli yalıtım kalınlığı azalmaktadır. Dolayısıyla yüksek ısı dirence sahip duvarlarda uygulanacak yalıtım kalınlığı daha aşağılara çekilebilir. Üç farklı il için kullanılan doğalgaz ve kömür yakıtlarının optimum yalıtım kalınlıkları ile arasındaki ilişki ise Şekil 5'te verilmiştir. Yıllık tasarrufun, yakıt maliyeti ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Yüksek maliyete sahip olan yakıtın kullanıldığı bölgelerde bina duvarında yapılacak ideal yalıtım büyük önem taşımaktadır. Derece-gün değeri ve yakıt maliyetinin artmasıyla optimum yalıtım kalınlığı da artacaktır. Yüksek DG sayısına sahip soğuk iklimlerde ısı kaybını düşürmek için daha fazla yalıtım kalınlığına gerek duyulmaktadır. Görüldüğü üzere optimum yalıtım kalınlığı için doğalgaz kullanımı her üç il için de kömür kullanımından daha etkili sonuçlar vermiştir. En son olarak her üç il için DG metodu ile bulunan optimum yalıtım kalınlığının, geri ödeme süresi üzerindeki etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere geri dönüşüm süresi, DG sayısının artmasıyla azalmaktadır. DG sayısının düşük olduğu sıcak iklimlerde daha düşük yalıtım

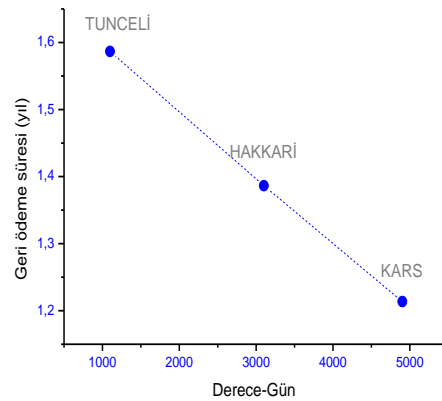
kalınlıklarına ihtiyaç duyulduğu için DG sayısının artmasıyla, yalıtım kalınlığının da arttığı görülmektedir.



Şekil 4. Farklı ısı dirençleri için ideal yalıtım kalınlıkları



Şekil 5. Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin alt ısı değeri farklı yakıt ile optimum yalıtım kalınlığının DG ile değişimi



Şekil 6. Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin ideal yalıtım kalınlığına göre geri ödeme zamanları

SONUÇ

Bu çalışmada örnek bir bölgenin ısıtma sezonu tespit edilmiş ve enerji maliyetleri dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Duvar tipine, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına ve bölgenin DG sayısına bağlı olarak gerekli yalıtım kalınlıklarının değişimi belirlenmiştir. Sonuç olarak, bina duvarındaki toplam ısı transfer katsayısının artışının, ideal yalıtım kalınlığını azalttığı görülmüştür. Derece-gün değerinin ve yalıtım için kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısının (k) artışı ise ideal yalıtım kalınlığını ile doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Neticede Tunceli için optimum yalıtım kalınlığı 7.9 cm hesaplanırken, Hakkâri ve Kars için 8.2 cm ve 10.4 cm olarak bulunmuştur. Sonuçlar ideal yalıtım kalınlığının, dış cephe yalıtımı için çok önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçlar yalıtım kalınlığı açısından değerlendirildiğinde en uygun sonucun doğal gaz yakıtının kullanılması halinde elde edildiği görülmüştür.

Türkiye için belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları incelendiğinde 2.8 ile 9.6 cm değerleri arasında olduğu saptanmıştır. Bu yüzden Türkiye’de, enerji tasarrufu ve yapıların ısıtma-soğutma hesaplamaları yapılırken sadece il değil aynı zamanda ilçelerinde iklim koşulları tek tek belirlenmeli ve yerel çözümler sunulmalıdır. Ayrıca enerji kaynaklarının sınırlı olması ve bilinçsiz tüketilmesi sebebiyle enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Enerjiyi verimli kullanmak, ısı kayıplarını azaltmak ve maliyeti en düşük düzeyde tutmak için yapılan yalıtım, ülkemiz adına büyük önem teşkil etmektedir. Bu yüzden doğru tasarlanacak yalıtım projeleri, insanlarımızı enerji verimliliği, sağlık, güvenlik, konfor ve bütçe konusunda fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F., Al-Hussain, S.N. 2012. Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential. *Applied Energy*, 89(1):430-442.

Ataç, A., Aksoy, U.T., 2006. Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4):753-758.

Balo, F., Uçar, A., İnallı, M., 2011. Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç

farklı metotla tespiti. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 21-27.

Bolattürk, A., 2006. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26:1301-309.

Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2001. Bin weather data for Turkey. *Applied Energy*, 70(2):135-155.

Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2007. Türkiye için ısıtma ve soğutma gün derece bölgeleri. *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, 2:867-872.

Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T. 2001. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Applied Energy*, 69(4):269-283.

Dilmac, S., Kesen, N., 2003. A comparison of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO9164, EN 832 and German regulation. *Energy and Buildings*, 35:161-174.

Kaynaklı, Ö., Yamankaradeniz, R., 2007. Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 187-195.

Kürekçi, A., Bardakçı, A.T., Çubuk, H., Emanet, Ö. 2012. Türkiye’nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 131:5-21.

Ogulata, R.G., 2002. Sectoral energy consumption in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6:471-480.

Özel, M., 2007. Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23:879-884.

Özel, M., 2013. Dört farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve çevresel analiz. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1):1-17.

Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., 2007. Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof for Turkey’s different degree-day regions. *Energy Policy*, 35:5151-5155.

Ucar, A., 2010. Thermoeconomic analysis method for optimization of insulation thickness for four different climatic regions of Turkey. *Energy*, 35:1854-1864.

Uçar, A., Balo, F., 2010. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*, 35:88-94.

URL-1, 2017. <http://www.hepsiburada.com/yalitim-malzemeleri>, 15 Eylül 2017.

Araştırma makalesi/Research article

Yıldırım, O., 2012. Thermaflex. 3. *Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, İstanbul, 08-10 Kasım.

Yoon, J., Lee, E., Krarti, M., 2003. Optimization of Korean crop storage insulation systems. *Energy Conversion and Management*, 44:1145-1162.