

Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Araş. Gör. Ömer KAYNAKLI
Prof.Dr. Recep YAMANKARADENİZ

ÖZET

Bu çalışmada, bir bölgenin derece-gün (DG) sayısının hesaplanmasına ve dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bir prosedür sunulmuştur. İlk olarak güncel dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak DG değeri ve yıllık ısıtma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda yıllık yakıt giderleri farklı yalıtım kalınlıkları için çıkarılmıştır. Yakıt giderlerine yalıtım maliyetleri de eklenerek ısıtma için toplam maliyet elde edilmiştir. Daha sonra, faiz ve enflasyon oranlarının da dikkate alındığı ömür maliyet analizlerinde yıllık yakıt giderinin bugünkü değeri hesaplanmıştır. Farklı yalıtım kalınlıkları için maliyet eğrileri oluşturularak, toplam maliyeti minimum yapan yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Analizler, farklı duvar tipi ve DG değerleri için de yapılarak bulgular ülkemizdeki çeşitli iklim bölgeleri için genişletilmiştir.

1. GİRİŞ

Isı yalıtımının önemi, temel olarak enerji ve çevre olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji, sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de önemli, stratejik, makro bir kavramdır. Ülkemizin, enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı bir gerçektir. Enerji ihtiyacının %60-65'lik bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir [1,2]. Ayrıca bu ihtiyaç her yıl yaklaşık %4,4 gibi bir oranda da artış göstermektedir [3].

Ülkemizin ithal ettiği ve kendi öz kaynaklarından ürettiği enerjinin üçte biri binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanılmaktadır. Yalıtımsızlık nedeniyle israf edilen enerji, kükürtdioksit, karbonmonoksit ve bunun gibi zehirli gazların oluşturduğu hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu da sadece Türkiye açısından değil küresel anlamda büyük ve tehlikeli bir problemdir.

Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Ülkemizde konut ve yapı sektörünün, toplam enerjinin yaklaşık yüzde 30-35'ini tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır [3,4]. Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenle-

Abstract:

In this study, a procedure to calculate degree-day number of a specific area and to determine the thickness of insulation is submitted. First, Degree-Day value is calculated by using actual external temperature values and yearly energy requirement is calculated. Yearly natural gas costs are calculated for different thickness values of insulation. Then, life long cost analyses have been made and yearly natural gas costs are calculated according to inflation rates. Cost curves are being drawn for different thickness values and thickness value with the minimum total cost have been determined. The same analyses are being made for different wall types and Degree-Day values and being extended to different climate areas of Turkey.

meler önemli yer tutmaktadır. Birçok ülke 1970'li yıllardan başlayarak, yeni bina kodları ve standartları geliştirmiştir. Bu standartlar, gelişen yalıtım teknolojisine bağlı olarak sürekli yenilenmektedir.

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardı [5]; ülkemizdeki enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemektedir.

Türkiye, TS 825’de derece-gün (DG) sayılarına göre il merkezleri için 4 yalıtım bölgesine ayrılmıştır. 1. bölge ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir.

Bu çalışmada dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının optimum değerinin tespiti için bir prosedür tanıtılmış ve farklı şartlarda çözümlenmeler yapılmıştır. Enerji ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu için ömür maliyet analizi (life cycle cost) kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına geçmeden önce, ele alınan bölgenin yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak DG sayısı tespit edilmiş, ısıtma sezonunun başlama ve bitiş tarihleri belirlenmiştir. Daha sonra, optimum yalıtım kalınlıkları farklı DG sayıları, duvar tipleri ve yalıtım malzemeleri için tespit edilecek bulgular genelleştirilmiştir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

2.1. Derece-gün Yöntemi

Enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan yöntemlerden biri de derece-gün (DG)’dür. DG değeri belirli bir denge sıcaklık (T_b) referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir [6]. Bu çalışmada $T_b = 15^\circ\text{C}$ alınmıştır [7].

Isıtma sezonunda toplam derece-gün sayısı için eşitlik (1) ve (2) kullanılabilir.

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

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

Burada T_i iç ortam dizayn sıcaklığı, T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Günlük ortalama sıcaklık, gün içindeki ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması alınarak belirlenir.

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

Burada $T_{o,\min}$ ve $T_{o,\max}$ sırasıyla gün içinde kaydedilen en düşük ve yüksek sıcaklıklardır.

2.2. Isı Kayıpları ve Enerji Gereksinimi

Dış duvarın birim yüzeyinden olan ısı kaybı,

$$q = U(T_b - T_o) \quad (4)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Burada U duvarın toplam ısı transfer katsayısıdır. DG kavramından yararlanılarak birim yüzey alan için yıllık ısı kaybı ise eşitlik (5) ile bulunabilir.

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

Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı E_A , yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanabilir.

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

Yalıtımın da olduğu tipik bir duvar için toplam ısı geçirgenliği, U ,

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

şeklinde. Burada h_i ve h_o sırasıyla iç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayıları, R_w yalıtımsız duvarın ısı direnci, x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Binanın iç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayıları için $h_i = 8,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $h_o = 34,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerleri kullanılmıştır [8]. Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci $R_{t,w}$ olmak üzere toplam ısı geçirgenliği yeniden düzenlenirse,

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

elde edilir. Bu durumda, ısıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı eşitlik (9) yardımıyla hesaplanabilir.

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

Burada η ısıtma sisteminin verimidir. Hu doğalgazın alt ısı değeri olmak üzere, tüketilen yıllık yakıt (doğalgaz) miktarı aşağıda verilen denklemle hesaplanır.

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

2.3. Maliyetler ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Yıllık yakıt miktarı bulunduktan sonra bu değerın yakıtın birim fiyatı (C_f) ile çarpılması yakıt maliyetini verir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti eşitlik (11) ile hesaplanabilir.

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

Bu çalışmada, binanın kullanım ömrü süresince enerji maliyet hesaplamalarında ömür maliyet analizi (LCCA) kullanılmıştır. Toplam ısıtma maliyeti hesaplanırken ömür süresi (LT) ve bugünkü değer (PV) birlikte değerlendirilmesi gerekir. PV değeri, gerçek faiz oranına (r) ve zamana bağlıdır. Gerçek faiz oranı aşağıda verilen denklemle bulunur.

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

Burada g enflasyon oranı ve i faiz oranıdır. Bu durumda PV [9],

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

Burada LT ömür süresidir ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir [10]. Yalıtımın toplam maliyeti ($C_{t,ins}$) aşağıda verilen denklemle bulunur.

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

Sonuç olarak toplam ısıtma maliyeti eşitlik (15) ile hesaplanabilir.

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

Toplam ısıtma maliyetinin yani (15) no'lu denklemin, yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse optimum yalıtım kalınlığı elde edilir.

$$x_{opt} = 293,94 \left(\frac{DG.C_f.k.PV}{Hu.C_{ins}.\eta} \right)^{1/2} - kR_{t,w} \quad (16)$$

2.4. Parametreler

Çalışmada ele alınan iki duvar tipinin özellikleri Tablo 1'de, yakıtla ilgili özellikler ve PV analizinde kullanılan bazı finansal ve maliyet parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Duvar tipleri ve özellikleri

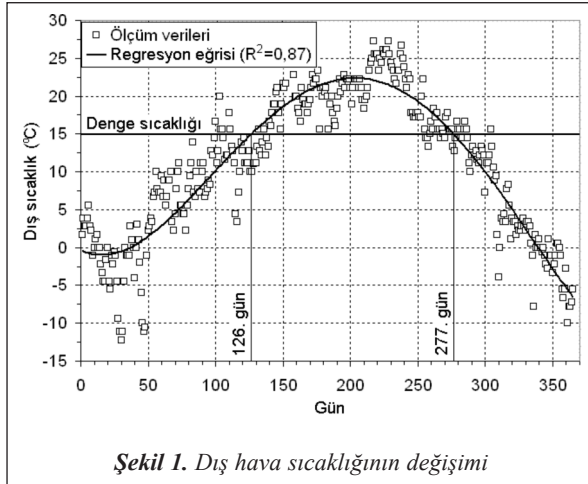
Parametre	Değer
I. tip duvar	
2 cm	İç sıva $k=0,87 \text{ W/mK}$
x cm	Yalıtım $k=0,034 \text{ W/mK}$
13,5 cm	Tuğla $k=0,45 \text{ W/mK}$
3 cm	Dış sıva $k=0,87 \text{ W/mK}$
$U = 1/(R_{ins}+0,508) \text{ W/m}^2\text{K}$	
II. tip duvar (sandviç duvar)	
2 cm	İç sıva $k=0,87 \text{ W/mK}$
13,5cm	Tuğla $k=0,45 \text{ W/mK}$
x cm	Yalıtım $k=0,034 \text{ W/mK}$
8 cm	Tuğla $k=0,45 \text{ W/mK}$
3 cm	Dış sıva $k=0,87 \text{ W/mK}$
$U = 1/(R_{ins}+0,696) \text{ W/m}^2\text{K}$	

Tablo 2. Yakıt, yalıtım özellikleri ve finansal parametreler [10,11]

Parametre	Değer
Yakıt (Doğalgaz)	
Alt ısııl değer (Hu)	34,526.106 J/m ³
Fiyat (C _f)	0,259 \$/m ³
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,93
Yalıtım malzemesi (polistiren)	
Isı iletim katsayısı (k)	0,034 W/mK
Fiyatı (C _{ins})	75 \$/m ³
Yoğunluğu (ρ)	30<ρ<35 kg/m ³
Finansal parametreler	
Enflasyon oranı (g)	8
Faiz oranı (i)	14
Ömür (LT)	10
Şimdiki değer (PV)	7,52 (eş.13 ile)

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

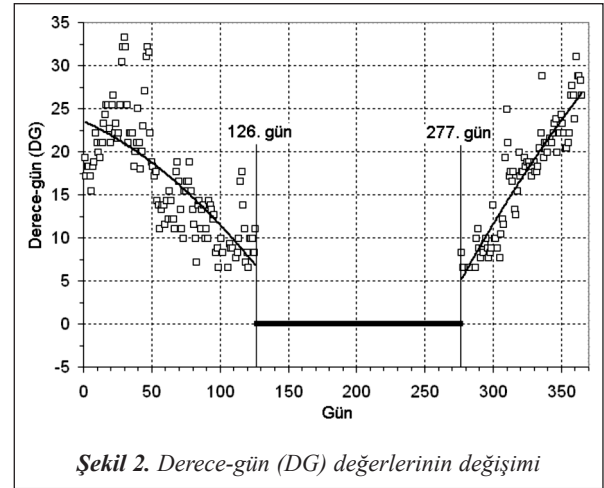
Optimum yalıtım kalınlığı hesabında öncelikle incelenecek bölgenin derece-gün değerinin belirlenmesi gerekir. Aşağıda verilen grafikte, 4. bölge derece-gün il grubunda yer alan örnek bir il için dış hava sıcaklık verilerinin yıl içindeki değişimi görülmektedir (Şekil 1). Verilen şekil, ısıtma sezonunun başlangıç ve bitiş zamanlarını tespit etmek için kullanılır. Yılın ilk ve son günleri kış mevsimine denk geldiğinden Şekil 1'den görüldüğü gibi dış sıcaklıklar



Şekil 1. Dış hava sıcaklığının değişimi

oldukça düşüktür. Denge sıcaklığı 15°C alındığında ısıtma sezonunun başlangıç ve bitiş noktaları, eğrinin kesim noktaları olup sırasıyla yılın 277. (4 Ekim) ve 126. (6 Mayıs) günleridir. Yani, dış hava sıcaklık verileri dikkate alındığında Tablo 3'ten görüldüğü gibi, teorik olarak 4 Ekim tarihinde ısıtma sezonu başlamakta ve 6 Mayıs tarihinde sezon son bulmaktadır. Periyot olarak yılın 1. ile 126. günleri arası 126 gün ve 277. ile 365. günleri arası 89 gün olmak üzere toplam 215 gün ısıtma yapılmaktadır. İlin veya gözöüne alınan bölgenin dış sıcaklık verilerinin uzun periyotlu (en az 10 yıl gibi) olması daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasına imkan sağlar.

Şekil 2'de verilen DG değerleri incelendiğinde, yılın ilk ve son günlerinde bu değerlerin büyük olduğu görülür. Çünkü bu günlerde dış hava sıcaklığı düşük olduğundan ısıtma için gerekli enerji miktarı veya diğer bir deyişle DG büyüktür. Yılın 126. ve 277. günleri arasında ısıtma yapılmadığından doğal olarak bu günler arasında DG sıfırdır. Her gün için bulunan derece-gün değerleri toplandığında DG=3426,78 olarak hesaplanır.



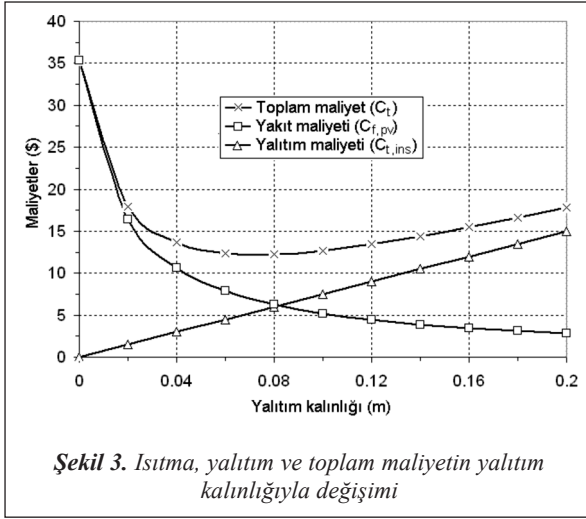
Şekil 2. Derece-gün (DG) değerlerinin değişimi

Şekil 3'de maliyetlerin (enerji, yalıtım ve toplam maliyet) yalıtım kalınlığı ile değişimi görülmektedir. Dış duvara uygulanan yalıtımın kalınlığı arttıkça doğal olarak toplam ısııl direnç (R_t) artar ve duvardan

Tablo 3. Isıtma periyodu

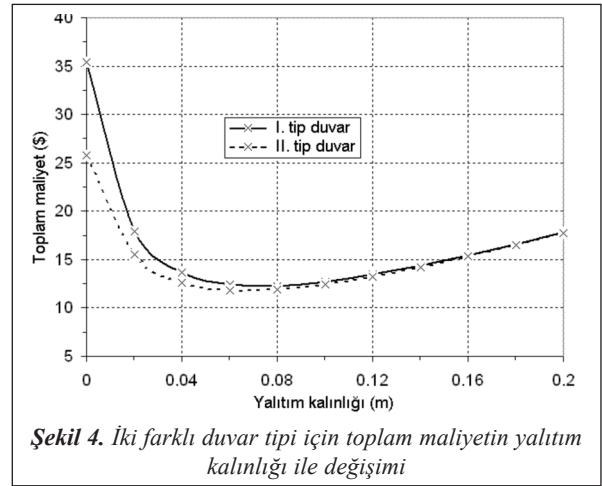
Isıtma yapılan süreç (gün)	Başlangıç günü / tarihi	Bitiş günü / tarihi
1-126, 277-365	277. gün / 4 Ekim	126. gün / 6 Mayıs

olan ısı kaybı azalır. Isı kaybının azalmasıyla şekilden görüldüğü gibi yıllık yakıt maliyeti ($C_{f,pv}$) azalan bir eğimle azalmaktadır. Çünkü yalıtım kalınlığı arttıkça R_t azalan bir eğimde artmaktadır. Bununla birlikte, yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti ($C_{t,ins}$) de lineer olarak artmaktadır. Çünkü uygulanan yalıtım kalınlığının artması daha fazla yalıtım malzemesi kullanılması anlamına gelmektedir. Bu iki maliyetin göz önünde bulundurulmasıyla oluşan toplam maliyet (C_t), yalıtım kalınlığının artmasıyla baştan azalmasına karşın belli bir değerden itibaren, enerji maliyetinin toplam maliyet içindeki etkinliğini kaybetmesinden dolayı artmaktadır. Toplam maliyeti minimum yapan nokta en uygun yalıtım kalınlığı değerini vermekte ve optimum yalıtım kalınlığı olarak adlandırılmaktadır. Bu noktanın sağında ve solunda (yani daha fazla ve az yalıtım kullanılması durumunda) ya yalıtım ya da yakıt maliyetinden dolayı toplam maliyet artma eğilimi göstermektedir. Yapılan hesaplamalarda optimum yalıtım kalınlığı 7,3 cm bulunmuştur.



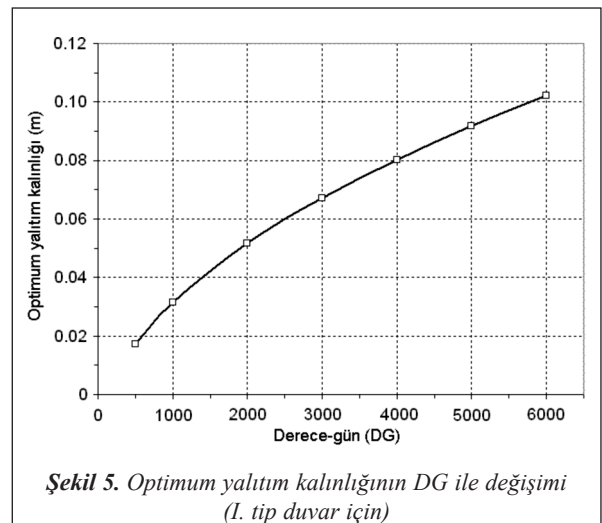
Şekil 4’de toplam maliyet eğrisi iki farklı duvar tipi için verilmiştir. Bu grafikten duvar tipinin optimum yalıtım kalınlığı üzerine etkisi görülmektedir. II. tip duvarın (sandviç duvarın) ısıl direnci I. tip duvara göre daha fazla olduğundan yakıt maliyeti dolayısıyla toplam maliyet bir miktar daha düşüktür. Ancak yalıtım kalınlığı arttıkça bu fark azalmakta, iki maliyet eğrisi birbirine yaklaşmaktadır. Yapılan hesaplamalarda sandviç duvar için optimum yalıtım kalınlığı 6,7cm bulunmuştur. Dolayısıyla, yüksek ısı

dirence sahip duvarlarda daha ince yalıtım kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.



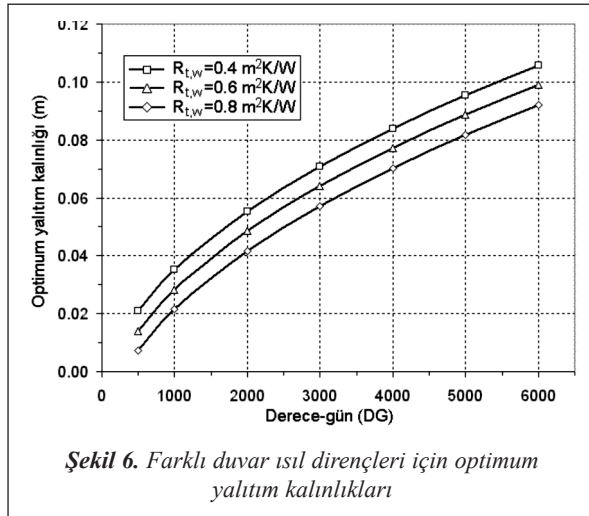
Yapılan hesaplamalarda incelenen bölge için DG yaklaşık 3426 olarak elde edilmişti. DG değeri iklim koşullarına göre oldukça değişkenlik göstermektedir. Ülkemiz için il bazında DG değerleri (Hatay / İskenderun için) 878 ile (Ardahan için) 5443 arasında değişmektedir (Bolattürk, 2006). Bu, Ardahan ilinde bulunan bir binanın, aynı özellikte İskenderun’da bulunana göre ısınma için 6,2 kat daha fazla enerji ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

Enerji ihtiyacındaki bu ciddi değişim, optimum yalıtım kalınlığını da önemli ölçüde etkilemektedir. DG değerlerinin 500 ile 6000 arasında değişmesinin optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi Şekil 5’de gösterilmiştir. Şekilden, İskenderun ili için opti-



mum yalıtım kalınlığı yaklaşık 2,8 cm okunurken, Ardahan için yaklaşık 9,6 cm okunmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde bina uygulamalarında, iklim koşullarına dikkat edilmeli ve her ilin hatta varsa ildeki özel bölgelerin de meteorolojik koşulları göz önünde bulundurularak yalıtım kalınlıkları belirlenmelidir.

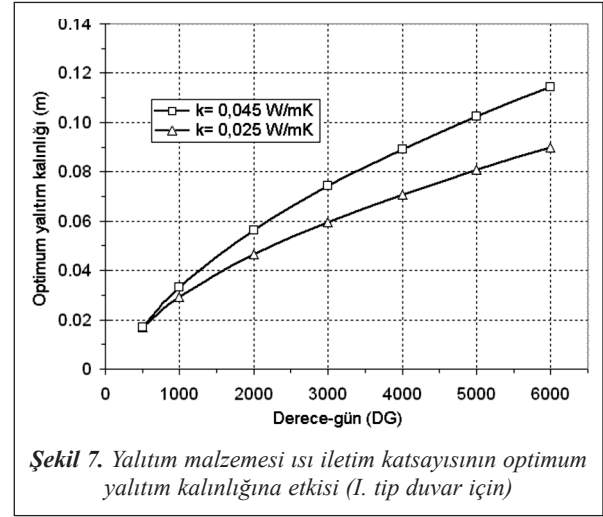
Optimum yalıtım kalınlığını etkileyen faktörlerden biri de duvarın ısı direncidir. Daha önce dikkate alınan I ve II nolu duvar tiplerini yalıtımsız haldeki ısı dirençleri sırasıyla 0,508 ve 0,696 m²K/W idi (Tablo 1). Şekil 6'da ise 0,4'den 0,8 m²K/W değerine kadar değişen üç farklı ısı dirence sahip 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. Örnek olarak DG=1000 için baktığımızda $R_{t,w}=0,4$ m²K/W'da $x_{opt}=3,5$ cm iken $R_{t,w}=0,8$ m²K/W'da $x_{opt}=2,2$ cm bulunmaktadır.



Şekil 6. Farklı duvar ısı dirençleri için optimum yalıtım kalınlıkları

Buraya kadar yapılan analizlerde yalıtım malzemesi değiştirilmediğinden yalıtım malzemesinin ısı direncinin optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi görülemez. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak ısı iletim katsayısı $k=0,034$ W/mK olan polistiren alınmıştır. Kullanılacak yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısının optimum yalıtım kalınlığına etkisi Şekil 7'den görülmektedir. ısı iletim katsayısı arttığında optimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Ancak bu etki, yüksek DG değerlerinde yani soğuk bölgelerde daha fazla olmaktadır. İklim olarak daha

sıcak bölgelerde yalıtım malzemesinin önemi daha az olmaktadır. Hatta DG=500 için optimum yalıtım kalınlıkları neredeyse üst üste çakışmıştır. DG=3426 için polistiren kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 7,3 cm bulunmuştu. $k=0,025$ W/mK ve $k=0,045$ W/mK ısı iletim katsayısı değerlerine sahip iki yalıtım malzemesi kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları ise sırasıyla 6,5 cm ve 8,1 cm'dir.



Şekil 7. Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısının optimum yalıtım kalınlığına etkisi (I. tip duvar için)

SONUÇ

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı ve dışa bağımlı olması nedeniyle özellikle enerjinin yoğun olarak tüketildiği ve ısı kayıpların çok olduğu konut sektöründe enerjinin korunumu ve verimli kullanımı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır.

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, duvarın toplam ısı transfer katsayısının artması optimum yalıtım kalınlığını azaltırken, DG ve yalıtım malzemesinin k değerinin artması optimum yalıtım kalınlığını artırmaktadır.

Ülkemizdeki optimum yalıtım kalınlıklarına baktığımızda ise yaklaşık 2,8 ile 9,6 cm arasında oldukça geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bu nedenle ülkemizde, enerji verimliliği ve binaların ısıtma-

soğutma hesaplamalarında ilin yanı sıra ilçe bazında tek tek iklim koşulları belirlenmeli ve yerel çözümler sunulmalıdır.

Yalıtım konusunda uygulamaya konulacak bir plan, ülkemize çok şey kazandıracaktır. İnsanlarımız daha sağlıklı, güvenli ve konforlu mekanlarda yaşayacaktır. Yalıtım, bütçeye, sağlığa, konfora ve çevreye yatırımdır. Kısaca yalıtım, karlı yatırımdır.

KAYNAKLAR

- [1] OGULATA R.G., "Sectoral energy consumption in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 471-480, 2002.
- [2] KAYGUSUZ K., KAYGUSUZ A., "Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use", *Energy Sources* 26, 1071-1082, 2004.
- [3] DEMİRBAŞ A., "Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey", *Energy Conversion and Management* 42, 1239-1258, 2001.
- [4] KAYGUSUZ, K., KAYGUSUZ, A., "Energy and sustainable development in Turkey, Part I: Energy utilization and sustainability", *Energy Sources* 24, 483-498, 2002.
- [5] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.
- [6] BÜYÜKALACA O., BULUT H., YILMAZ T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", *Applied Energy* 69, 269-283, 2001.
- [7] DURMAYAZ A., KADIOĞLU M., ŞEN Z., "An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul", *Energy* 25,1245-1256, 2000.
- [8] ÇENGEL Y.A., "Heat transfer: A practical approach", McGraw-Hill Inc., 1998.
- [9] MEARING T., COFFEE N., MORGAN M., "Life cycle cost analysis handbook", State of Alaska, Department of Education & Early Development Education Support Services / Facilities, 1st ed., 1999.
- [10] BOLATTÜRK A., "Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey", *Applied Thermal Engineering* 26, 1301-1309, 2006.
- [11] ANONİM, "Doğal gaz cihazları sanayicileri ve işadamları derneği", 2005 (www.dosider.org).