



GÜNEŞ RADYASYONU DİKKATE ALINARAK SICAK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARDA OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Ali BOLATTÜRK* ve Cüneyt DAĞIDIR**

*Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
32260,Isparta, alibolatturk@sdu.edu.tr

**Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
32260,Isparta, cuneytdagidir@stud.sdu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 31. 05. 2011, Kabul Tarihi: 14. 10. 2011)

Özet: Bu çalışmada, sıcak iklim bölgesindeki 6 farklı şehir ile çalışılmıştır. Öncelikle, bina dış yüzeylerinin güneş radyasyonunu yutma oranlarının çeşitli değerlerine göre ısıtma ve soğutma yükleri hesap edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ısıtma ve soğutma yüklerini de içeren ve ekonomik bir yöntem olan P1-P2 metodu kullanılmıştır. Buna göre bütün iller için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri faiz, enflasyon, ömür gibi ekonomik datalar da kullanılarak belirlenmiş ve radyasyonsuz durum ile karşılaştırılmıştır. Güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz optimum yalıtım kalınlıklarına göre dış duvarlar için toplam ısı transfer katsayısı (U) değerleri hesap edilmiştir. Binalarda ısı yalıtım kuralları olarak bilinen TS 825’ de birinci bölge şehirleri için verilen U değerlerinin yetersiz olacağı ortaya konmuştur. Ayrıca, elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına göre binalardaki yoğuşma kontrolleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derece-saat metodu, Güneş hava sıcaklığı, Optimum yalıtım kalınlığı, Enerji tasarrufu, Geri ödeme süresi, Binalarda yoğuşma.

DETERMINATION OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS FOR BUILDINGS IN HOT CLIMATE REGIONS BY CONSIDERING SOLAR RADIATION

Abstract: A six different cities in hot climate region were studied in this study. Heating and cooling loads were calculated primarily according to absorption rate values of various solar radiation at exterior surfaces of the buildings. When calculating the optimum thickness of insulation, the P1-P2 method is used which is an economical method and includes heating and cooling loads. Accordingly, the optimum insulation thicknesses, energy savings and payback periods for all the cities were determined by using economic data such as interest rate, inflation rate, life-cycle and compared with the non-radiation situation. The total heat transfer coefficient (U) values were calculated for exterior walls according to optimum insulation thickness by considering solar radiation and non radiation condition. The study showed that the U values given at cities of first degree-day region at TS 825 (Turkish Standard) which is known as rules of heat insulation in buildings were insufficient. In addition, condensation controls were conducted according to the obtained optimum insulation thicknesses.

Keywords: Degree-hours method, Sol-air temperature, Optimum insulation thickness, Energy saving, Payback period, Condensation in buildings.

SEMBOLLER

η_s	Isıtma sisteminin verimi
C	Fiyat, maliyet [$\$/m^3$, $\$/kg$, $\$/kWh$]
CDH	Yıllık soğutma derece-saat değeri [$^{\circ}C$ -saat]
COP	Soğutma sisteminin performans katsayısı
d	Enflasyon oranı
E_A	Yıllık ısıtma enerjisi [J/m^2]
HDH	Yıllık ısıtma derece-saat değeri [$^{\circ}C$ -saat]
h	Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]
h_o	Dış yüzeydeki konveksiyon ve ışıma birleşik ısı transfer katsayısı [$W/m^2^{\circ}C$]
i	Faiz oranı
k	Isıl iletim katsayısı [W/mK]
LHV	Yakıtın alt ısıl değeri [J/m^3 , J/kWh]

N	Ömür [yıl]
N_p	Geri ödeme süresi [yıl]
P	Basınç [Pa]
q	Isı kaybı [W/m^2]
$q_{güneş}$	Güneş radyasyonu [W/m^2]
R	Isıl direnç [$m^2^{\circ}C /W$]
S	Enerji tasarrufu [$\$/m^2$]
S_d	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı (m)
T_b	Denge sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_o	Saatlik dış ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{sa}	Güneş-hava sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{surr}	Hava sıcaklığı [$^{\circ}C$]
U	Toplam ısı transfer katsayısı [$W/m^2^{\circ}C$]
x	Yalıtım kalınlığı [m]
α_s	Yüzeyin güneş radyasyonunu yutma oranı

ε	Yüzeyin yayma oranı
μ	Su buharı difüzyon direnç faktörü
ϕ	Bağıl nem

Alt simgeler

A	Yıllık
C	Soğutma
E	Elektrik
F	Yakıt
H	Isıtma
I	Yalıtım malzemesi
ins	Yalıtım
i	İç ortam
konv	konveksiyon
o	Dış ortam
op	Optimum
rad	radyasyon
t	Toplam
un	Yalıtımsız
w	Duvar malzemesi
wt	Yalıtım malzemesi hariç toplam duvar

GİRİŞ

Dünya’da yaşanan enerji krizleri enerji tasarrufu politikalarını gelişmesine neden olmuştur. Petrole olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, kömür ve doğalgaz önem kazanmış, alternatif enerji kaynaklarından daha çok yararlanması için çalışmalara başlanmıştır. Ülkemizde enerji tasarrufuna gerekli önemin verilmemesi, her yıl önemli ölçüde enerji kaybına neden olduğu gibi, ayrıca odun-kömür gibi yerli yakıtların hızla tüketilmesine yol açmakta, petrol-doğalgaz gibi yakıtların gereğinden fazla ithal edilmesine neden olmaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gelişen teknoloji ve sanayileşme ülkenin enerji ihtiyaçlarını her geçen gün arttırırken, enerji kaynaklarımız ve enerji üretimimiz (ithalata göre) azalmaktadır. Ülkemizdeki enerji tüketiminin sektörel dağılımı yıllara göre değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllara göre enerji tüketiminin sektörel dağılımı (WECTNC, 1995).

Yıl	Sanayi	Konut	Ulaştırma	Tarım	Diğer
1995	35.80	34.41	21.32	5.49	2.98
1999	38.96	33.75	19.82	5.11	2.36
2003	42.24	31.44	19.22	5.08	2.02
2007	45.47	29.25	18.55	4.99	1.74

Ülkemizdeki enerji tüketiminin yaklaşık % 30’ nu oluşturan binalarımızdaki enerji tüketimi sanayi sektöründen sonra en büyük payı almaktadır. Bu nedenle enerji tasarrufu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir. Bunu sağlamanın en etkin yollarından biri dış duvarlara ısı yalıtımı uygulaması yapmaktır (Aytaç ve Aksoy, 2006).

Bina duvarlarına uygulanacak olan yalıtımın kalınlığı arttıkça ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken yalıtım maliyetinde de artışa neden olacaktır. Bu

durumda maliyet analizi yaparak yalıtımın optimum kalınlığı belirlenmelidir. Optimum yalıtım kalınlığı birçok ekonomik parametreye bağlıdır. Yıllık ısıtma ve soğutma yükleri iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığı hesap edilirken ısıtma yükü mü yoksa soğutma yükü mü temel alınarak hesaplanacağı önceden belirlenmelidir (Bolattürk, 2008).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; (Hasan, 1999), yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığı hesabı için derece-gün değeri ile birlikte ömür maliyet analizini kullanmıştır. İki farklı yalıtım malzemesi kullanarak duvar alanında on yıl için 21 \$/m²’nin üzerinde bir enerji tasarrufu elde etmiştir. Geri ödeme süreleri, polistiren malzeme için 1-1.7 yıl, taş yünü malzeme için ise 1.3-2.3 yıl arasında hesap edilmiştir. (Mohsen ve Akash, 2001), yalıtım malzemesi olarak polistiren, taş yünü ve hava boşluğu kullanarak yaptıkları çalışmada enerji tasarruflarını araştırmışlardır. Buna göre, polistiren ile % 36, taş yünü ile % 34 ve hava boşluğu ile de % 5.4’lük enerji tasarrufu elde etmişlerdir. (Çomaklı ve Yüksel, 2003), Türkiye’nin en soğuk üç şehri Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlığını derece-gün yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre polistiren yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlıkları Erzurum için 0.10 m, Kars için 0.10 m ve Erzincan için 0.08 m, enerji tasarrufları da sıra ile 12.13 \$/m², 12.72 \$/m² ve 7.99 \$/m² olarak hesap edilmiştir. (Daouas vd, 2010), yaptıkları çalışmada Tunus’daki binalarda iki farklı duvar tipi ve iki farklı yalıtım malzemesi için ömür maliyet analizini kullanmışlardır. En iyi sonuçları sandviç tipi duvar yapısında geliştirilmiş polistiren malzeme kullanarak elde etmişlerdir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı 0.057 m, enerji tasarrufu % 58 oranında ve geri ödeme süresi 3.11 yıl olarak hesap edilmiştir. (Yu vd, 2009), yaptıkları çalışmada Çin’deki dört şehir için P₁-P₂ ekonomik metodu ile farklı yönere ait derece-saat değerleri ve 5 farklı yalıtım malzemesi kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Buna göre 20 yıllık ömür üzerinden, optimum yalıtım kalınlığı 0.053-0.236 m arasında ve geri ödeme süreleri 1.9-4.7 yıl arasında değişmektedir. Ayrıca ısıtma ve soğutma sezonlarında bina duvarlarındaki ısı transferinde güneş radyasyonunun duvar yönlerine göre etkisi belirlenmiştir. Dış duvarın yüzey renginin optimum kalınlıkları etkilemede önemli olduğunu belirtmişlerdir. (Bolattürk, 2006), Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinden 16 il için optimum yalıtım kalınlıklarını polistiren yalıtım malzemesi ve beş farklı yakıt türü için hesap etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı yakıt ve iklim bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları 0.02-0.17 m arasında, enerji tasarrufları % 22-79 ve geri ödeme süreleri 1.3-4.5 yıl arasında değiştiği hesap edilmiştir.

Binalardaki optimum yalıtım kalınlığını hesaplamada birçok çalışma olmasına rağmen bu çalışmaların birçoğu ısıtma yüküne göre yapılmıştır. Sıcak iklim bölgelerinde yıl içerisinde soğutma sezonunun daha fazla olmasıyla, binalarda soğutma amaçlı tüketilen enerji büyük ölçüde

artmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde optimum yalıtım kalınlıkları hesap edilirken soğutma yüküne göre hesap yapılması gerekmektedir. (Al-Khawaja, 2004), çeşitli yalıtım malzemeleri ile Katar'daki evler için optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır. Çalışmasında güneş radyasyonunun etkisini dikkate alarak güneş-hava sıcaklıklarını açık ve koyu renkli yüzeyler, ayrıca farklı yönlere göre ayrı ayrı değerlendirmiştir. Bunların sonucunda en iyi sonucun ısı köprüleri yalıtım levhası (wallmate) adı verilen yalıtım malzemesinin sağladığını belirtmiştir. (Bolattürk, 2008), yaptığı çalışmada Türkiye'nin birinci iklim bölgesindeki şehirler için optimum yalıtım kalınlıklarını güneş radyasyonunu da dikkate alarak hesap etmiştir. Buna göre sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlıkları soğutma yüklerine göre değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. (Bolattürk ve Dağdır, 2011), yaptıkları çalışmada İzmir ili için güneş radyasyonu dikkate alarak iki tip bina duvarları için soğutma yükü esas alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesabı ve yoğuşma kontrolleri yapılmıştır.

TS 825'e göre Türkiye dört farklı derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Bu çalışmada ele alınan iller Şekil 1'deki harita üzerinde gösterilmiştir. Birinci derece-gün bölgesinde bulunan illerimiz için, hem ısıtma hem de soğutma yükleri güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz hesap edilmiştir.



Şekil 1. Birinci derece-gün bölgesinde bulunan yerleşim yerlerinin gösterimi

Binalardaki optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri ekonomik verilerde dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak illerimizde görülen en düşük dış sıcaklık değerine göre yoğuşma kontrolleri yapılmıştır.

BİNALARDA ISITMA ve SOĞUTMA YÜKLERİ

Binalardaki ısıtma ve soğutma yüklerini hesap etmek için ASHRAE tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir. Özellikle soğutma yükü hesaplarına etki eden değişkenlerin sayısı çok fazladır. Bu değişkenlerin kesin olarak tanımlanması zor olup, bunların daima birbirleri ile karmaşık bir ilişkisi vardır (ASHRAE, 1993). Bütün bu metotlar arasından yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit ve en sezgisel yolu kararlı bir yaklaşım olan derece-saat metodudur. Bu metot ısıtma ya da soğutma sezonu boyunca iç şartların sabit kaldığı ve dış

sıcaklığın değişmesiyle ısıtma ya da soğutma ekipmanlarının veriminin değişmediği varsayımına dayanır (Çengel, 1998). Isıtma ve soğutma yüklerinin belirlenmesi için iç ve dış ortam sıcaklıklarının bilinmesi ve değerlendirilmesi gerekir. Bu hesaplamalarda iç ortam ısı kazançlarına güneş radyasyonunun etkisi de ilave edilerek daha hassas sonuçlar elde edilmektedir.

Enerji krizi ve hava kirliliği gibi nedenlerden dolayı iç hava sıcaklığının ne olması gerektiği gözden geçirilmiş; bunun sonucu olarak da değişik ülkeler kendi koşullarına göre değişik denge sıcaklık değerleri önermişlerdir (Akbayır, 2006). Denge sıcaklığı bölgeden bölgeye ülkeden ülkeye değişmekle birlikte genel olarak çalışmalarda 18.3 °C (65 °F) olarak alınmaktadır.

Isıtma ve soğutma yüklerini hesap etmek için kullanılan denge sıcaklık değerleri birçok çalışmada farklı alınmıştır. Satman ve Yalçınkaya, (1999), Türkiye'deki iller için 77 hava istasyonundan elde ettikleri veriler yardımıyla ısıtma ve soğutma derece-saat değerlerini hesap etmişlerdir. Isıtma için 15, 17 ve 18.3 °C denge sıcaklıklarını, soğutma için ise 24, 26, 27 ve 30 °C denge sıcaklıklarını kullanmışlardır. Ayrıca ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri arasında büyük bir fark olduğu ve bunun nedeninin de doğu bölgelerinde karasal iklim tipinin etkili olmasından kaynaklandığını söylemişlerdir. Büyükalaca vd, (2001), Türkiye'deki bütün iller için farklı denge sıcaklıklarında ısıtma ve soğutma yüklerini hesap etmişlerdir. Bunun için yıllık ısıtma derece-gün hesabında 14, 16, 18, 20, 22 °C gibi 5 farklı denge sıcaklığını, yıllık soğutma derece-gün hesabında ise 18, 20, 22, 24, 26, 28 °C gibi 6 farklı denge sıcaklığını kullanmışlardır. Buna göre 18 °C denge sıcaklığında yıllık ısıtma derece-gün değerleri en yüksek 4827 ile Erzurum'da, en düşük olan 690 değeri ile İskenderun'da hesap edilmiştir. Papakostas ve Kyriakis, (2005), çalışmalarında Atina ve Selanik şehirleri için ısıtma yükü hesabında denge sıcaklığı olarak 10-20 °C arasındaki farklı sıcaklık değerlerini, soğutma yükü hesabında ise 20-27.5 °C arasındaki farklı sıcaklık değerlerini kullanmışlardır. Buna göre 20 °C denge sıcaklığında belirlenen Atina şehri için en yüksek ısıtma derece-saat değeri 7872 olup, bu değer Selanik için 10320 olarak hesap edilmiştir.

Bu çalışmada meteorolojiden birinci derece-gün bölgesindeki illere ait saatlik sıcaklık ve saatlik güneş radyasyon verileri temin edilmiştir. Dış ortam sıcaklığının belirlenen denge sıcaklığından düşük olduğu durumlarda yıllık ısıtma derece-saat değerleri Eş. (1)'de verilen denklem ile elde edilir.

$$HDH = (1 \text{ yıl}) \sum_{1}^{365} (1 \text{ gün}) \sum_{1}^{24} (T_b - T_{sa})^+ \quad (1)$$

Burada; HDH yıllık ısıtma derece-saat değeri, T_b (°C) denge sıcaklığını, T_{sa} (°C) güneş-hava sıcaklığını ifade etmektedir. Parantezin üzerindeki + işareti sadece

pozitif değerlerin hesaba katılacağını gösterir. Fakat denge sıcaklığı güneş hava sıcaklığından küçük, yani $T_{sa} > T_b$ olur ise yıllık soğutma derece-saat değerleri Eş. (2)' deki gibi hesap edilmektedir.

$$CDH = (1 \text{ yıl}) \sum_1^{365} (1 \text{ gün}) \sum_1^{24} (T_{sa} - T_b)^+ \quad (2)$$

Burada; CDH yıllık soğutma derece-saat değerini göstermektedir.

Güneş radyasyonuna maruz bir binanın dış yüzeyine olan ısı akışı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çengel, 1998)

$$\begin{aligned} Q_{\text{yüzey}} &= Q_{\text{konv+rad}} + Q_{\text{güneş}} - Q_{\text{rad, düzeltme}} \\ &= h_o A (T_o - T_s) + \alpha_s A q_{\text{güneş}} - \varepsilon A \sigma (T_o^4 - T_{\text{gök}}^4) \quad (3) \\ &= h_o A (T_{sa} - T_s) \end{aligned}$$

Burada, T_o saatlik ortalama dış ortam sıcaklığı, T_s duvar yüzeyinin sıcaklığı, α_s yüzeyin güneş radyasyonunu yutma oranı, h_o dış yüzeydeki konveksiyon ve radyasyon için birleşik ısı transfer katsayısı, $q_{\text{güneş}}$ duvar yüzeyine gelen güneş radyasyonu ve ε yüzeyin yayma oranıdır. Buradan güneş-hava sıcaklığı güneş-hava sıcaklığı,

$$T_{sa} = T_o + \frac{\alpha_s}{h_o} q_{\text{güneş}} - \frac{\varepsilon \sigma (T_o^4 - T_{\text{gök}}^4)}{h_o} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ortamı çevreleyen çevre hava sıcaklığı ile gökyüzü sıcaklığı ortalama olarak birbirine eşit olduğu zaman ($T_o = T_{\text{gök}}$), yüzeye konveksiyon ve radyasyon şeklindeki ısı transferi Eş. (3)' ün ilk terimi ile ifade edilebilir. Aksi durumda ($T_o \neq T_{\text{gök}}$) son terim ışınlama ısı transferi için düzeltme terimi olarak ifade edilebilir. Güneş hava sıcaklığına ilişkin son terim gökyüzüne dikey yüzeyleri için yaklaşık sıfır olarak alınabilir. (Çengel, 1998). Bu çalışmada dik duvarlar için son terim sıcaklıklar eşit alındığı için elimine edilmiştir.

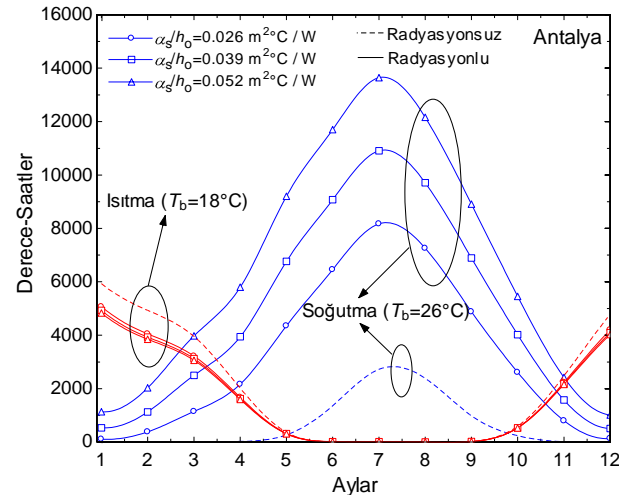
Antalya iline ait ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri Şekil 2 ile gösterilmiştir. Burada yapılan hesaplamalarda, denge sıcaklığı ısıtma yükü için 18 °C, soğutma yükü 26 °C baz alınmıştır. Ayrıca, ortalama olarak birleşik ısı transfer katsayısı $h_o = 17 \text{ W/m}^2\text{C}$, yüzeyin güneş radyasyonunu yutma oranı α_s koyu yüzeyler için 0.90, açık yüzeyler için 0.45 alınarak binanın güneş radyasyonunu absorbe etme özelliğini gösterir α_s/h_o değerlerine göre (0.052: koyu renk, 0.026: açık renk, 0.039: ara renk) ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri hesaplanmıştır. Isıtma derece-saat değerlerinin, yılın soğuk aylarında daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra sıcak iklim bölgelerindeki illerde (Şekil 1) ilkbahar ve yaz döneminde ısıtma yükleri yük denecek kadar azdır.

Dolayısıyla bu dönemlerde hemen hemen hiç ısıtma ihtiyacına gerek duyulmadığı söylenebilir. Güneş

radyasyonu hesaba katıldığında ısıtma yüklerinde belirgin farklar oluşmaktadır, fakat bu farklar soğutma yüklerine nazaran oldukça düşüktür. Bunun sebebi, kış aylarındaki güneşlenme saatlerinin çok az olmasından dolayı güneş-hava sıcaklıklarının dış ortam sıcaklıklarına yakın olması olarak açıklanabilir.

Radyasyonsuz durumdaki derece-saat olarak soğutma yükleri 4. aydan (nisan) başlayıp 10. aya (ekim) kadar görülmekte olup, özellikle yaz ortasında en yüksek değere ulaşmaktadır. Güneş radyasyonunun hesaba katılması ile belirgin bir şekilde derece-saat olarak soğutma yüklerinde artış meydana gelmiştir. Radyasyonlu soğutma yükleri bütün aylara belirgin bir şekilde yayılmış durumdadır.

Ayrıca güneş radyasyonunun etkisiyle soğutma derece-saat değerlerindeki artış, α_s/h_o değerlerinin artmasıyla (yüzeyin koyulaşması) belirgin bir biçimde görülmektedir. Bu nedenle soğutma yükü hesaplarında duvarların absorbe ettiği güneş radyasyonunun etkisi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2. Antalya'ya ait güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz durum için derece-saat olarak ısıtma ve soğutma yükleri.

BİNALARDA ENERJİ TÜKETİMİ

Konutlardaki en büyük ısı kazançları ve kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere gibi yapı elemanlarından meydana gelmektedir. Buralarda oluşan ısı kaybı oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Isı kayıplarının oranı binalarımızın tek katlı ya da çok katlı olmasına göre farklılık arz etmektedir (Tablo 2). Son yıllarda diğer ticari binalarda olduğu gibi konutların bina yükseklikleri göz önüne alındığında, dış duvarlara uygulanan ısı yalıtımının önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.

Yıllık tüketilen enerji miktarını hesaplayabilmek için öncelikle bina dış duvarlarından meydana gelen ısı kayıplarını bilmemiz gerekmektedir. Isı kayıplarını karşılamak için kaybedilen ısı miktarını karşılayacak

Tablo 2. Tek katlı ve çok katlı binalardaki ısı kayıplarının oranları (Dağsöz, 1999).

	Dış duvar	Çatı	Bodrum	Pencere	Hava kaçakları
	%				
Tek katlı	25	22	20	20	13
Çok katlı	40	7	6	30	17

kadar ısıtma, ısı kazançlarını karşılamak için ise soğutma sistemleri çalıştırılır. Dış duvarların birim alanından meydana gelen ısı kaybı aşağıdaki Eş. (5) ile hesap edilmektedir.

$$q=U(T_b-T_{sa}) \quad (5)$$

Burada, q (W/m^2) birim alandan meydana gelen ısı kaybı, U (W/m^2K), toplam ısı transfer katsayısı olup, yalıtımsız duvar için toplam ısı transfer katsayısı Eş. (6)'da görüldüğü gibi hesap edilmektedir.

$$U_{un} = \frac{1}{R_i + R_w + R_o} = \frac{1}{R_{tw}} \quad (6)$$

Burada, U_{un} yalıtımsız durumdaki duvarların toplam ısı transfer katsayısını, R_i ve R_o (m^2K/W), sırasıyla iç ve dış yüzeylerdeki taşınım dirençleri, R_w yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direnci, R_{tw} yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direncidir. Yalıtım tabakasının ısı direnci ise Eş. (7) ile ifade edilmektedir.

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

Burada, x (m) yalıtım malzemesinin kalınlığı, k (W/mK) ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarların toplam ısı transfer katsayıları arasındaki fark Eş. (8) ile elde edilmektedir.

$$\Delta U = U_{un} - U_{ins} = \frac{1}{R_{tw}} - \frac{1}{R_{tw} + \frac{x}{k}} \quad (8)$$

Yalıtımlı veya yalıtımsız durumdaki bina dış duvarlarından meydana gelen ısı kayıplarını karşılamak için ısıtma amaçlı tüketilen yıllık enerji miktarı Eş. (9) ile hesap edilmektedir.

$$E_{A,H} = \frac{C_F U}{LHV \eta_s} HDH \quad (9)$$

Burada, HDH ısıtma derece-saat değerini, C_F ($\$/m^3$) ısıtmada kullanılan yakıt maliyetini, LHV (J/m^3) yakıtın alt ısı değerini, η_s ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Benzer şekilde soğutma sistemi için yıllık enerji miktarı aşağıda verilen Eş. (10) yardımı ile hesap edilmektedir.

$$E_{A,C} = \frac{C_E U}{COP} CDH \quad (10)$$

Burada, CDH yıllık soğutma derece-saat değeri, C_E ($\$/kWh$) elektrik enerjisi birim fiyatı ve COP soğutma sisteminin performans katsayısıdır.

OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI, ENERJİ TASARRUFU VE GERİ ÖDEME SÜRESİ

Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken ömür maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. N yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti şimdiki (net) değer faktörü (PWF) ile birlikte değerlendirilmelidir. Şimdiki değer faktörü faiz oranı (i), enflasyon oranı (d) ve yalıtımın ömrüne (N) bağlıdır. Yalıtım ile olan net enerji tasarrufu miktarı P_1 - P_2 metodu kullanılarak elde edilir. P_1 faiz ve enflasyon oranlarının eşit olup olmamasına göre Eş. (10)'daki gibi iki farklı şekilde hesap edilmektedir (Duffie ve Beckman, 1984).

$$P_1(N,i,d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] & i \neq d \\ \frac{N}{1+i} & i = d \end{cases} \quad (11)$$

P_2 ise aşağıda verilen denklem yardımı ile hesap edilmektedir.

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v (1+d)^{-N} \quad (12)$$

Eş. (12)'de M_s yıllık bakım ve işçilik maliyetinin ilk alınan maliyet değerine oranı, R_v perakende satış değerinin ilk satış değerine oranıdır. Buna göre bakım ve işçilik maliyetleri sıfır kabul edilirse P_2 değeri 1 alınabilir (Duffie ve Beckman, 1984).

Duvar yüzeyine uygulanacak olan ısı yalıtımının birim yüzey için maliyeti Eş. (13) ile hesap edilmektedir.

$$C_{ins} = C_i x \quad (13)$$

Burada; C_i ($\$/m^3$) yalıtım malzemesinin birim metreküp fiyatı, x (m) uygulanacak olan yalıtım kalınlığı, C_{ins} ($\$/m^2$) ise birim yüzey için yalıtımın maliyetidir.

P_1 - P_2 metoduna göre ısıtma için elde edilecek enerji tasarrufu S_H ($\$/m^2$) Eş. (14) ile hesap edilmektedir.

$$S_H = \frac{P_1 C_F \Delta U}{LHV \eta_s} HDH - P_2 C_i x \quad (14)$$

Benzer şekilde soğutma sistemi için enerji tasarrufu S_C ($\$/m^2$) denklemi Eş. (15) ile elde edilmektedir (Bolattürk, 2008).

$$S_C = \frac{P_1 C_E \Delta U}{COP} CDH - P_2 C_i x \quad (15)$$

Toplam maliyeti minimum yapacak olan yalıtım kalınlığı bize optimum değeri vermektedir. Buna göre enerji tasarrufunu veren Eş. (14) ve (15)'in yalıtım kalınlığına göre türevleri alınıp sıfıra eşitlenirse, ısıtma

ve soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları sırası ile Eş. (16) ve (17)' de verilen denklemler elde edilir.

$$x_{op,H} = \left(\frac{P_1 C_F k HDH}{P_2 C_i LHV \eta_s} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (16)$$

$$x_{op,C} = \left(\frac{P_1 C_E k CDH}{P_2 C_i COP} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (17)$$

Burada, $x_{op,H}$ (m) ve $x_{op,C}$ (m) sırası ile ısıtma ve soğutma için optimum yalıtım kalınlığını ifade etmektedir. Yalıtım maliyetine karşılık geri ödeme süreleri faiz (i) ve enflasyon (d) oranlarının eşit olup olmamasına göre farklı denklemler elde edilir. Bu çalışmada hesaba katılan i ve d farklı oranlar oldukları göz önüne alındığında, ısıtma ve soğutma için geri ödeme süreleri sırası ile Eş. (18) ve (19)'da verilen denklemler yardımı ile hesap edilmektedir.

$$N_{p,H} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_i LHV \eta_s (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_F HDH} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (18)$$

$$N_{p,C} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_i COP (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_E CDH} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (19)$$

Burada, $N_{p,H}$ (yıl) ve $N_{p,C}$ (yıl) ısıtma ve soğutma için geri ödeme sürelerini belirtmektedir. Bütün bu hesap edilen değerler sonucunda yakıt ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyet değeri ısıtma ve soğutma için Eş. (20) ve (21)'de verilen denklemler yardımı ile hesap edilmektedir (Bolattürk, 2008).

$$C_{t,H} = P_1 E_{A,H} + P_2 C_{ins} \quad (20)$$

$$C_{t,C} = P_1 E_{A,C} + P_2 C_{ins} \quad (21)$$

Görüldüğü üzere optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri yakıt maliyeti, yalıtım maliyeti, duvar ve yalıtım malzemesi özellikleri, şimdiki değer faktörü gibi birçok parametreye bağlıdır.

Hesaplarda kullanılan parametreler ve bunların değerleri Tablo 3'te verilmektedir.

BİNA DUVARLARINDA YOĞUŞMA KONTROLÜ

Isı yalıtımı bina içerisindeki ısı konforu sağlamak ve enerji tasarrufu sağlamak için yapılmaktadır. Ancak, yalıtım yapılırken su buharı hareketlerinin de göz önüne alınması gerekir. Bina duvarlarında su buharı difüzyonu sonucu olan yoğuşma, yapı malzemeleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğu gibi ısı transferinin de artmasını sağlar. Yoğuşma önlenemez ve yapı içerisinde yayılırsa duvarlarda zamanla rutubet meydana gelir.

TS 825 bina kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının nem ile ilgili performansının belirlenmesinde

kullanılmak üzere hesaplama modeli olarak Glaser Grafik Yöntemi'ni esas almaktadır (TS 825). Glaser yöntemi için pratik hesaplamalarda kullanılan eşdeğer hava tabakası kalınlığının, S_d (m), hesabı Eş. (22) ile hesap edilmektedir (Karakoç vd, 1999).

$$S_d = \mu L \quad (22)$$

Burada, μ buhar difüzyonu direnç katsayısını, L (m) duvar tabaka kalınlığını belirtmektedir (Altınışık, 2006).

Tablo 3. Hesaplarda kullanılan parametreler ve değerleri.

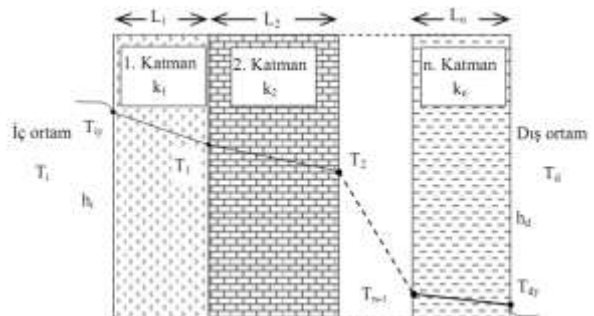
Parametre	Değeri
Yakıt	
Doğalgaz (ısıtma için)	
Alt ısı değeri, (LHV)	34.526 10 ⁶ J/m ³
Maliyet, C_F	0.481 \$/m ³
Verim, η_s	% 93
Elektrik (soğutma için)	
Maliyet, C_E	0.184 \$/kWh
Etkinlik katsayısı, COP	2.5
Yalıtım	
Sıkıştırılmış Polistiren (XPS)	
İletkenlik, k	0.028 W/mK
Maliyet, C_I	133 \$/m ³
Dış duvarlar	
Dış duvar direnci	$R_{tw} = 0.668$ m ² K/W
Ekonomik veriler	
Faiz oranı, i	% 5
Enflasyon oranı, d	% 4
Ömür, N	10
Denge sıcaklıkları	
Isıtma için, T_b	18°C
Soğutma için, T_b	26°C

Şekil 3'te bir dış duvarı oluşturan katmanların kesit resmi görülmektedir. Duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları Eş. (23) ve (24) ile ayrı ayrı hesap edilmektedir.

$$T_{iy} = T_b - \frac{q}{h_i} \quad (23)$$

$$T_{dy} = T_{sa} + \frac{q}{h_d} \quad (24)$$

Burada, h_i (W/m²K) duvarın iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı, h_d (W/m²K) dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 3. Duvar katmanlarının gösterimi.

Duvar katmanları arasındaki ara yüzey sıcaklıkları aşağıda verilen Eş. (25)'deki denklem yardımı ile her bir katman arası için ayrı ayrı hesap edilmektedir.

$$T_n = T_{n-1} - \left(q \frac{L_n}{k_n} \right) \quad (25)$$

Yoğuşma kontrolünde Antalya için iç ve dış ortamlar iklim şartları Tablo 4 ile verilmiştir. Antalya için dış ortam sıcaklığı meteorolojiden elde edilen saatlik sıcaklık verilerinden elde edilen en düşük sıcaklık değeri hesaba katılmıştır. Bu tablo değerleri her il için ayrı ayrı oluşturularak bütün iller için yoğuşma kontrolleri yapılmıştır.

Tablo 4. İç ve dış iklim sınırlandırma şartları tablosu.

Yoğuşma periyodu	İç iklim şartları	Dış iklim şartları
Hava sıcaklığı (°C)	18	-3.5
Bağıl nem (%)	50	80
Doymuş su buharı basıncı (Pa)	2064	456.4
Su buharı kısmi basıncı (Pa)	1032	365.1

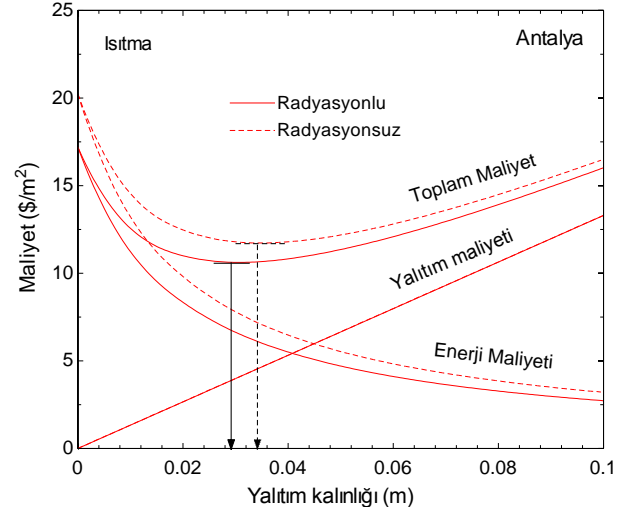
Yoğuşma kontrolünde, duvar katmanları arasındaki herhangi bir bölgede su buharı doyma basıncı değeri hiçbir zaman su buharı kısmi basınç eğrisinin altında olmamalıdır. Eğer olursa bu durumda yoğuşma meydana gelir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

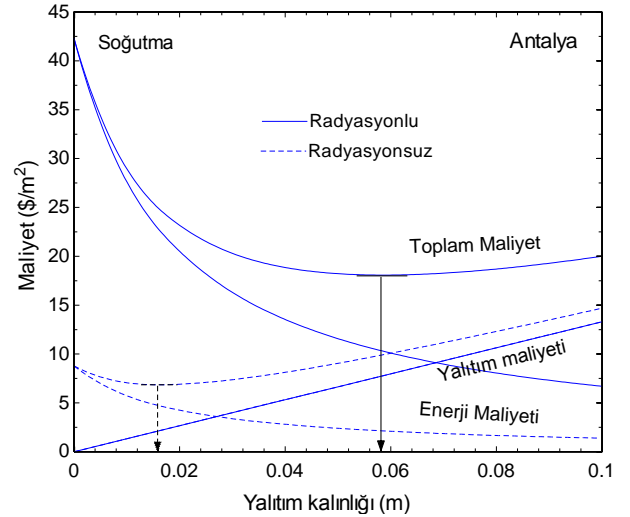
Bu çalışmada, birinci derece-gün bölgesinde bulunan Adana, Antakya, Antalya, Aydın, İzmir ve Mersin illeri için, güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yükleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Binalarda yalıtım kalınlığının artması ısı kaybını azaltır ve enerji tasarrufunu sağlar. Daha fazla enerji tasarrufu sağlamak istenir ise yalıtımın kalınlığı artırılabilir.

Artan yalıtım kalınlığı yakıt maliyetlerini azalttığı gibi yalıtım maliyetini de arttırmaktadır. Fakat belirli bir seviyeden sonra sağlanacak enerji tasarrufu yalıtım maliyetini karşılayamamaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5 ile Antalya ili için ısıtma ve soğutma yüklerine ait yalıtım kalınlığı maliyet ilişkileri ayrı ayrı verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi enerji ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyet belirli bir noktaya kadar azalmakta daha sonra artmaktadır. Toplam maliyeti minimum eden noktadaki yalıtım kalınlığı bize optimum değeri verir.

Güneş radyasyonu dikkate alınmadan ısıtma yüklerine göre elde edilen optimum yalıtım kalınlığı 0.034 m iken, güneş radyasyonu hesaba katıldığında kalınlık 0.030 m olup az da olsa bir düşüş göstermektedir (Şekil 4). Soğutma yüküne göre hesap yapıldığında ise, güneş radyasyonu optimum yalıtım kalınlığını oldukça arttırmaktadır. Radyasyonsuz durumdaki optimum yalıtım kalınlığı 0.016 m iken, bu değer güneş radyasyonu ile 0.09 m'ye kadar çıkmaktadır. Bu durum,



Şekil 4. Antalya iline ait radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) ve radyasyonsuz ısıtma yüküne göre yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi.



Şekil 5. Antalya iline ait radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) ve radyasyonsuz soğutma yüküne göre yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi.

sıcak bölgelerde güneşin etkisinin, yılın büyük bir bölümünde oldukça yoğun olmasıyla açıklanabilir (Şekil 5). Dolayısıyla sıcak iklim bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken önce ısıtma ve soğutma yüklerine göre mukayese edilmeli daha sonra uygun yüke göre hesap yapılmalıdır. Soğutma yükünü önemli ölçüde etkileyen güneş radyasyonu mutlaka hesaba katılmalıdır.

Isıtma ve soğutma derece-saat değerlerinin hesabında 18°C denge sıcaklığı temel bir sıcaklıktır. Ancak uygulamada soğutma derece-saat değerleri için daha yüksek sıcaklıklar denge sıcaklığı olarak kullanılır. Bu çalışmada, önceden de bahsedildiği üzere, ısıtma için 18 °C, soğutma için 26°C denge sıcaklığı olarak kabul edilmiş ve buna göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Burada, optimum yalıtım kalınlıkları üzerine denge sıcaklığının etkilerini görmek açısından radyasyonlu ve radyasyonsuz durum için ayrıca hesaplama yapılmıştır (Şekil 6). Optimum yalıtım

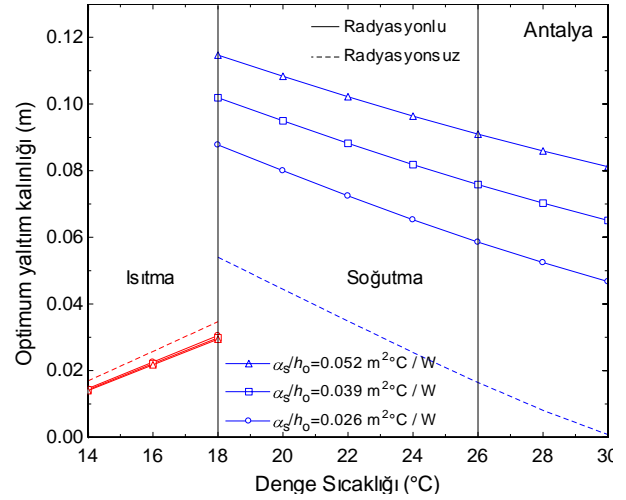
kalınlıkları, ısıtma yükü için 14-18°C ve soğutma yükü için 18-30°C denge sıcaklıklarında hesap edilmiştir. Denge sıcaklığı artarken ısıtma yüküne göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı artmakta, öte yandan soğutma yüküne göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı azalmaktadır.

Antalya ilinde güneş radyasyonsuz durumda optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma (denge sıcaklığı 18°C) için 0.034 m iken soğutma (denge sıcaklığı 26°C) durumunda bu değer 0.016 m' dir. Güneş radyasyonu dikkate alınarak yapılan işlemlerde ise aynı denge sıcaklıkları ve $\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$ değeri için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla ısıtmada 0.0305 m, soğutmada ise 0.0585 m elde edilmiştir. Dolayısıyla Antalya gibi sıcak iklime sahip bölgelerde optimum yalıtım kalınlığı, güneş radyasyonunun dikkate alındığı soğutma yüküne göre yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Sıcak iklim bölgelerinde soğutma sezonunun süresi fazla ve güneşlenme şiddetinin yüksek olması enerji harcamalarını da artıracaktır. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerinde enerji harcamalarını azaltma açısından uygun ve yeterli kalınlıkta yalıtımın gerekliliği önem arz etmektedir.

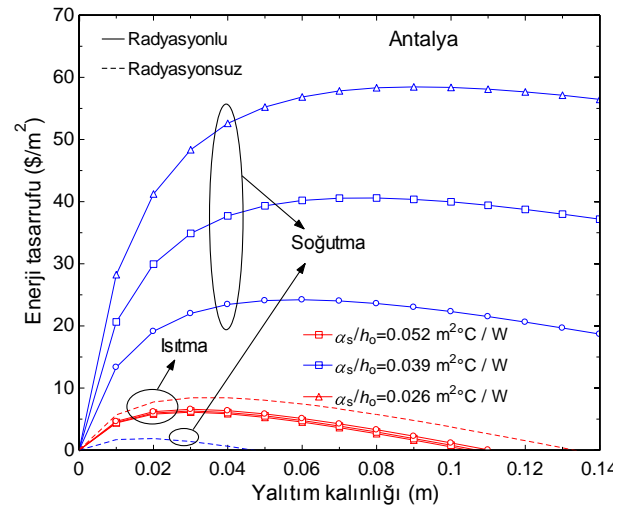
TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kuralları" çerçevesinde bölgelere göre tavsiye edilen U değeri ısıtma yüküne göre verilmiş olup, birinci bölge bina duvarlarının tamamı için $U_D=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ şeklindedir. Optimum yalıtım kalınlıklarına göre yapılan hesaplamalarda söz konusu birinci bölge şehirleri için bu çalışmayla tavsiye edilen U değerleri Tablo 5' te görülmektedir. Tabloda hem ısıtma hem de soğutma yüküne göre elde edilen U değerleri verilmiştir. Şehirlerin hepsi birinci bölgede olmasına rağmen güneşlenme zamanı, güneş radyasyonu ve iklim şartlarına bağlı olarak değerler farklılıklar arz etmektedir. Güneşlenme zamanı ve güneş radyasyon absorbe etme miktarları artıktıkça soğutma yükü için gerekli U değeri azalmaktadır. Bu durum sıcak iklim bölgeleri için optimum yalıtım kalınlıklarını artırmaktadır. Enerji tasarrufu açısından değerlendirildiğinde TS 825'in tavsiye ettiği U değeri hem radyasyonsuz hem de radyasyonlu hesaplamalarda elde edilen değerleri karşılamadığı görülmektedir. Dolayısıyla bu değerlerin birinci iklim bölgesi için hem soğutma yüküne göre hesap edilmesi hem de şehir bazında tavsiye edilmesi daha uygun olacaktır.

Güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerine için enerji tasarrufunun yalıtım kalınlıklarına göre değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Enerji tasarrufu optimum yalıtım kalınlığı değerine kadar artarken bu değerden sonra düşüş göstermektedir. Bu düşüş yalıtımla sağlanan enerji tasarrufunun giderek azalmasından ve yalıtım maliyetinin lineer olarak artmasından kaynaklanmaktadır.

Antalya ilinde güneş radyasyonunun dikkate alınmadığı durumda enerji tasarrufu ısıtma yükü için 8.50 $\$/\text{m}^2$ iken, soğutma için bu değer 1.90 $\$/\text{m}^2$ 'dir. Radyasyonlu durum söz konusu olur ise; $\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$ için sırasıyla enerji tasarrufu ısıtmada 6.85 $\$/\text{m}^2$, soğutmada ise 24.23 $\$/\text{m}^2$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. Antalya için farklı denge sıcaklıklarındaki radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıkları.



Şekil 7. Antalya ilinin radyasyonlu ve radyasyonsuz değerleri için enerji tasarrufu yalıtım kalınlığı ilişkisi.

Bütün illere ait güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz olarak hesap edilen optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri Tablo 6 ile verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; birinci bölge illeri için elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma yüklerine göre soğutma yüklerinde daha yüksektir. Güneşlenme süreleri ve duvarların güneş radyasyonu absorbe etme oranları arttıkça optimum yalıtım kalınlıkları artmaktadır. Öte yandan soğutma yüklerine göre hesap edilen enerji tasarrufu artarken buna paralel olarak geri ödeme süreleri azalmaktadır.

Yoğuşma kontrolleri, her bir il için güneş radyasyonlu soğutma yüküne göre elde edilen optimum yalıtım kalınlığına göre yapılmıştır. Birinci iklim bölgesindeki iller için kullanılan duvar tipine ait özellikler Tablo 7'de görülmektedir. Bu tabloda açık renkli yüzey için ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) güneş radyasyonlu soğutma yüküne göre elde edilen optimum yalıtım kalınlığı değeri hesaba katılmıştır.

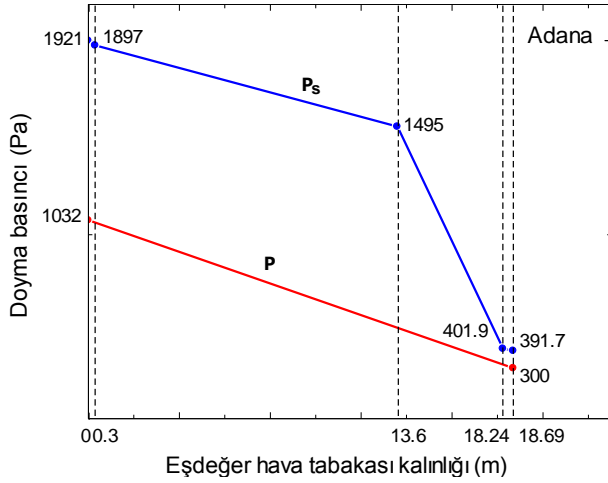
Yoğuşma kontrolü Tablo 7'de verilen değerlere göre difüzyon dengi hava tabakası kalınlığına bağlı olarak

elde edilmektedir. Aynı tablo bütün iller için ayrı ayrı değerler ile doldurulmaktadır. Bu çalışmada ele alınan

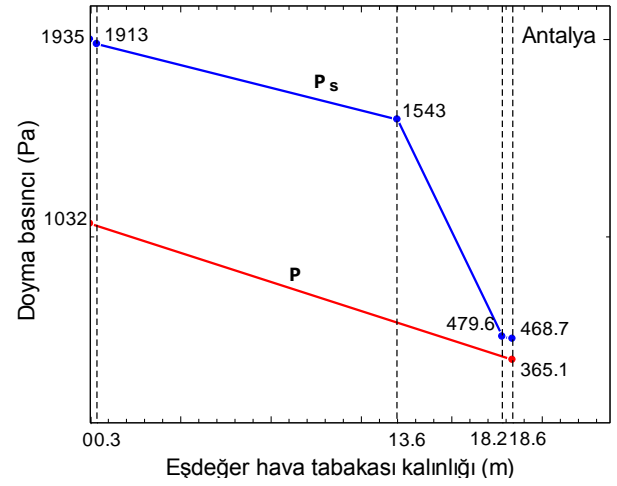
bütün illere ait yoğuşma grafikleri ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 8-13).

Tablo 5. Birinci bölge bina duvarları için ısıtma ve soğutma yüküne göre tavsiye edilen U değerleri.

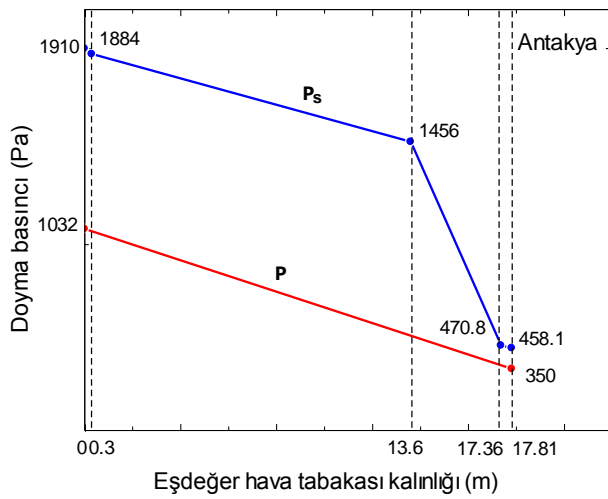
Isıtma	α_s/h_o ($m^2\text{°C/W}$)	Adana	Antakya	Antalya	Aydın	İzmir	Mersin
		U (W/m^2K)					
Radyasyonsuz	-	0.512	0.495	0.530	0.457	0.482	0.601
Radyasyonlu	0.026	0.554	0.535	0.575	0.498	0.538	0.659
	0.039	0.562	0.544	0.583	0.507	0.549	0.668
	0.052	0.568	0.552	0.588	0.513	0.555	0.673
Soğutma							
Radyasyonsuz	-	0.791	0.946	0.809	0.769	0.892	0.903
Radyasyonlu	0.026	0.367	0.424	0.365	0.397	0.368	0.360
	0.039	0.301	0.347	0.297	0.329	0.298	0.291
	0.052	0.260	0.299	0.256	0.284	0.255	0.250



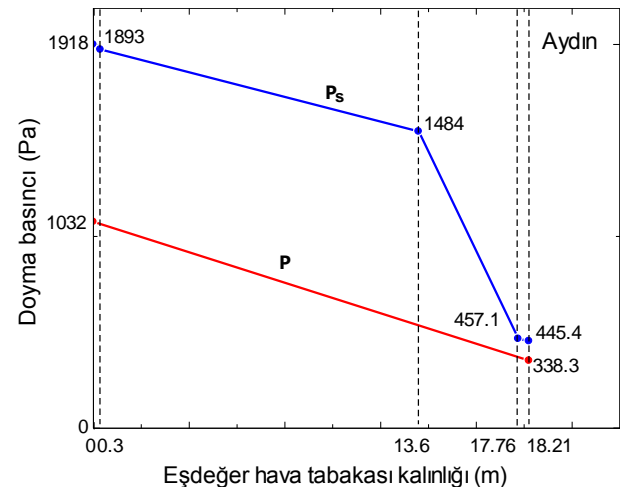
Şekil 8. Adana iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği.



Şekil 10. Antalya iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği.



Şekil 9. Antakya iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği.



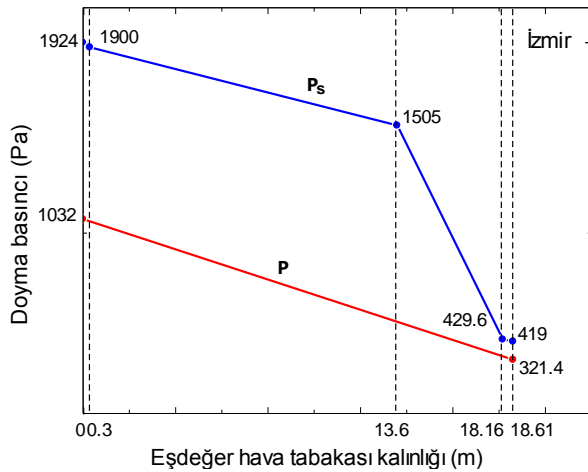
Şekil 11. Aydın iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği.

Tablo 6. Bütün iller için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz olarak hesap edilen optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri.

		α_g/h_o (m ² °C/W)	Adana		Antakya		Antalya		Aydın		İzmir		Mersin	
			Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Radyasyonsuz	-	0.0365	0.0172	0.0383	0.0114	0.0346	0.0164	0.0430	0.0182	0.0398	0.0132	0.0284	0.0128
	Radyasyonlu	0.026	0.0323	0.0581	0.0341	0.0478	0.0305	0.0585	0.0380	0.0522	0.0338	0.0578	0.0243	0.0595
		0.039	0.0316	0.0747	0.0332	0.0623	0.0298	0.0758	0.0370	0.0669	0.0328	0.0757	0.0237	0.0778
		0.052	0.0311	0.893	0.0325	0.0753	0.0294	0.0909	0.0363	0.0802	0.0322	0.0915	0.0234	0.0937
Enerji tasarrufu (\$/m²)	Radyasyonsuz	-	9.78	2.18	10.75	0.95	8.507	1.907	13.57	2.44	11.60	1.28	5.917	1.21
	Radyasyonlu	0.026	7.67	24.75	8.52	16.74	6.585	24.23	10.59	20.00	8.40	24.51	4.346	25.91
		0.039	7.33	40.87	8.07	28.43	6.303	40.62	10.03	32.78	7.91	41.99	4.141	44.36
		0.052	7.10	58.87	7.76	41.49	6.113	58.47	9.67	47.13	7.61	61.31	4.006	64.27
Geri ödeme süresi (yıl)	Radyasyonsuz	-	3.42	5.24	3.32	6.25	3.62	5.45	3.06	5.10	3.23	5.90	4.01	5.96
	Radyasyonlu	0.026	3.70	2.46	3.58	2.85	3.92	2.52	3.33	2.67	3.60	2.47	4.38	2.42
		0.039	3.75	2.03	3.64	2.34	3.98	2.06	3.39	2.21	3.67	2.01	4.44	1.96
		0.052	3.79	1.75	3.69	2.02	4.01	1.78	3.44	1.92	3.71	1.72	4.49	1.69

Tablo 7. Yoğuşma suyunun oluşması halinde söz konusu difüzyon grafiği için özel çizelge.

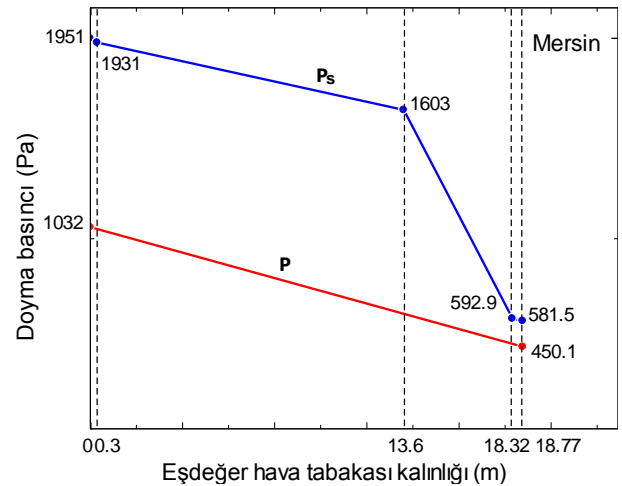
Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tabaka	Tabaka kalınlığı L (m)	Su Buharı Difüzyon direnci katsayısı μ	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Isı iletkenlik katsayısı k (W/mK)	Yüzeysel ısı taşınım direnci, malzemenin ısı direnci $1/h, 1/\Lambda$ (m^2K/W)	Sıcaklık T (°C)	Doymuş su buharı basıncı P (Pa)
	$1/h_i$ iç ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	0.13	18	2064
							16.97	1935
1	İç sıva	0.02	15	0.3	0.87	0.023	16.79	1913
2	Delikli tuğla	0.19	70	13.3	0.45	0.422		
3	Yüzeyi pürüzlü ve kanallı levhalar	0.058	80	4.64	0.028	2.071	13.46	1543
							-2.77	485.2
4	Dış sıva	0.03	15	0.45	0.87	0.034		
	$1/h_d$ dış ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	0.058	-3.04	474.3
							-3.5	456.4
			$\Sigma S_d=$	18.69	$1/U=$	2.738		



Şekil 12. İzmir iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği

Yoğuşma grafiklerinde, üstte bulunan çizgi katmanlar arasındaki sıcaklıklara karşılık gelen doymuş su buharı basıncı (P_s) değerleridir. Altta bulunan doğrusal çizgi ise verilen bağıl nemlere bağlı olarak iç ve dış sıcaklık değerlerine karşılık gelen kısmi basınçları (P) göstermektedir. Yapı bileşenindeki su buharı kısmı

basıncı bileşenin her noktasındaki muhtemel doymuş su buharı basıncından düşüktür. Grafiklerde görüldüğü gibi hiçbir noktada kesişme olmadığından yapı bileşenlerinin herhangi bir yerinde yoğuşma meydana gelmemektedir.



Şekil 13. Mersin iline ait eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü grafiği

Bütün yağışma grafiklerinde soğutma yüküne göre belirlenen güneş radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) optimum yalıtım kalınlığı değeri hesaba katılmıştır. Yapılan kontrollerde hiçbir bölgede yağışma gözlenmemiştir. Ayrıca, bu optimum yalıtım kalınlık değerleri ile en düşük hangi sıcaklık değerine kadar yağışmanın önleneyeceği de araştırılmıştır. Buna bağlı olarak yapılan hesaplamalarda illere ait yağışmanın meydana gelmeyeceği en düşük sıcaklık değerleri Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Birinci iklim bölgesindeki iller için yağışmanın meydana gelmediği en düşük sıcaklık değerleri

Şehirler	Yağışmanın olmadığı en düşük sıcaklık değerleri (°C)
Antalya	-16
Adana	-16
Antakya	-14
Aydın	-13
Mersin	-15
İzmir	-14

Elde edilen bu sıcaklık değerlerine kadar yağışmanın meydana gelmediği görülmüştür. Sıcak iklim bölgelerinde bu kadar düşük sıcaklıklar hemen hemen hiç görülmemiştir. Dolayısıyla, güneş radyasyonlu soğutma yükünden hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları aynı zamanda bölgedeki çok düşük sıcaklıklarda yağışma oluşumunu engellemektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, ısıtma sezonundan çok soğutma sezonuna sahip sıcak iklim bölgesindeki iller için binalardaki optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları, geri ödeme süreleri ve binalardaki yağışma kontrollerinin hesaplamaları yapılmıştır. Güneş radyasyonunun güneş-hava sıcaklığı, ısıtma ve soğutma kapasiteleri, optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Hesaplamalarda derece-saat yöntemi ve ekonomik dataların kullanıldığı ömür-maliyet analizini içeren P₁-P₂ metodu kullanılmıştır. Güneş radyasyonsuz durum için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; sıcak iklim bölgeleri için enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri dikkate alındığında binalarda optimum yalıtım kalınlıklarının soğutma yüklerine göre hesap edilmesi ortaya konmuştur. Koyu renkli binalarda güneş radyasyonunun etkileri daha fazla olup, yalıtım kalınlıkları artmaktadır. Elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına göre binalardaki yağışma riskleri ortadan kalkmaktadır.

Birinci iklim bölgesi için TS 825' te tavsiye edilen U değerlerinin duvar ve çatılar için yetersiz kaldığı görülmüştür. Enerji tasarrufu açısından bu U değerlerinin birinci bölge için soğutma yüküne göre ve il bazında tavsiye edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akbayır, Ö., 2006, *Derece-Gün Metodu ve Eskişehir İçin Derece-Gün Değerlerinin Tespiti*. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80, Eskişehir.

Al-Khawaja, M.J., 2004, Determination and Selecting The Optimum Thickness of Insulation for Buildings in Hot Countries by Accounting for Solar Radiation, *Applied Thermal Engineering*, 24, 2601-2610.

Altınışik, K., 2006, *Isı Yalıtımı*, Nobel Yayın Dağıtım, 954, 276s. Ankara.

ASHRAE HANDBOOK, 1993, *Fundamentals Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Aytaç, A., Aksoy, U.T., 2006, Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 753-758.

Bolattürk, A., 2006, Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.

Bolattürk, A., 2008, Optimum Insulation Thickness for Buildings Walls With Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in The Warmest Zone of Turkey, *Building and Environment*, 43, 1055-1064.

Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., 2001, Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey, *Applied Energy*, 69, 269-283.

Çengel, Y.A., 1998, *Heat Transfer: A Practical Approach* 2th Ed., McGraw-Hill, 853.

Çomaklı, K., Yüksel B., 2003, Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving, *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.

Dağıdır, C., Bolattürk, A., 2011, Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16 Nisan, İzmir.

Dağsöz, A.K., 1999, *Konutlarda Ekonomik Isınma El Kitabı*, İzocam Yayınları, 120s.

Daouas, N., Hassen, H., Aissia, H., 2010, Analytical Periodic Solution For The Study of Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls in Tunisia, *Applied Thermal Engineering*, 30, 319-326.

Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1980, *Solar Engineering Of Thermal Processes*. A Wiley-Interscience Publication, 919p. Wisconsin.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008, www.enerji.gov.tr.

Hasan, A., 1999, Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost, *Applied Energy*, 63, 115-124.

Karakoç, T.H., Binyıldız, E., Turan, O., 1999, *Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı*, ODE Teknik Yayınları, 212s, İstanbul.

Mohsen, M.S., Akash, B.A., 2001, Some Prospects of Energy Saving in Buildings, *Energy Conversion & Management*, 42, 1307-1315.

Papakostas, K., Kyriakis, N., 2005, Heating and Cooling Degree-Hours for Athens and Thessaloniki, Greece, *Renewable Energy*, 30, 1873-1880.

Satman, A., Yalçinkaya, N., 1999, Heating and Cooling Degree-Hours for Turkey, *Energy*, 24, 833-840.

TS 825 *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, 1999. Resmi Gazete 23725.

WECTNC, 1995, *World Energy Council, Turkish National Committee, Turkey Energy Report*, Ankara, Turkey.

Yu, J., Yang, C., Tian, L., Liao, D., 2009, A Study on Optimum Insulation Thickness of External Walls in Hot Summer and Cold Winter Zone of China, *Applied Energy*, 86, 2520-2529.



Ali BOLATTÜRK, 1969 yılı İskenderun doğumludur. 1990 yılında Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 1992 yılında yüksek lisansını ve 1997 yılında Süleyman Demirel Üniversitesinde doktorasını tamamlamıştır. 1997-2008 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesinde Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır. 2008 yılında Doçent unvanını almıştır. Yalıtım, enerji yönetimi ve tasarrufu, ekserji, jeotermal enerji konularında çalışmaktadır.



Cüneyt DAĞIDIR, 1986 yılında İstanbul'da doğdu. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitenin Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim dalında 2008 yılında yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve halen devam etmektedir. 2010 yılında İstanbul'da bir gaz dağıtım şirketinde yetkili mühendis olarak çalışmıştır.