

GÜNEŞLENME ŞİDDETİ DİKKATE ALINARAK SICAK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARDA OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ BELİRLENMESİ

Ali BOLATTÜRK
Cüneyt DAĞIDIR

ÖZET

Bu çalışmada sıcak iklim bölgesinde bulunan Antalya ili için güneş radyasyonunun etkisi de hesaba katılarak ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma yükleri belirli bir denge sıcaklığında derece-saat yöntemine göre hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma yükü hesaplamaları için meteorolojiden temin edilen on bir yıllık, saatlik dış ortam sıcaklıkları ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Ayrıca güneş radyasyonu dikkate alınarak ve alınmayarak derece-saat değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre Antalya'daki bina dış duvarları için gerekli optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri faiz, enflasyon, ömür gibi ekonomik datalar da kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına göre Antalya'da görülen en düşük sıcaklık dikkate alınarak yoğuşma kontrolleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sıcak iklim bölgelerindeki binalarda yalıtım hesaplamalarının özellikle soğutma yüklerine göre yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derece-saat yöntemi, optimum yalıtım kalınlığı, güneş-hava sıcaklığı, enerji tasarrufu, yoğuşma.

ABSTRACT

In this study, the optimum insulation thickness is calculated according to cooling and heating loads for Antalya situated in the first climate zone, taking into account the effect of solar radiation. Heating and cooling loads of a specific equilibrium temperature is calculated according to degree-hour method. Heating and cooling load calculations obtained from the meteorological eleven-year, hourly outdoor temperatures and sun intensity values were used. In addition, taking into account the solar radiation and non-radiation degree-hour values were obtained. According to these values, the optimum insulation thickness for external walls of buildings in Antalya, energy savings, payback periods and interest rates, inflation, economic data, such as the use of life have been identified. In addition, the optimum insulation thickness to achieve the lowest temperature in Antalya is made taking into account the condensation control. According to the results, especially in hot climate regions of cooling loads, according to calculations should be done is understood that the buildings insulation.

Key Words: Degree-hours method, optimum insulation thickness, sol-air temperature, energy saving, condensation.

1. GİRİŞ

Yaşanılan enerji krizleri, enerji üretimi, tüketimi ve ülkeler arasındaki enerji politikalarında önemli değişikliklere yol açmıştır. Enerjinin gereksiz kullanılmamasının anlaşıldığı şu günlerde tüketilen enerji için tasarruf yolları aranmaya başlanmış ve enerji tasarruf politikaları geliştirilmiştir. Bu amaçla, petrole olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, kömür ve doğalgaz önem kazanmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından daha çok yararlanması için çalışmalara başlanmıştır.

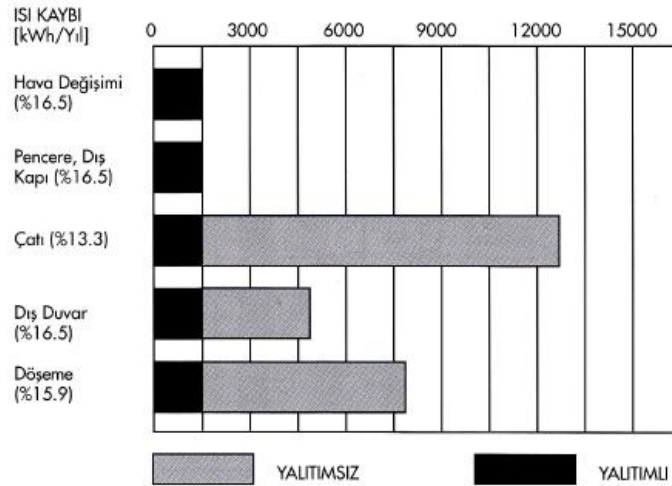
Ülkemizdeki enerji kaynakları, gün geçtikçe artan enerji taleplerini karşılayamadığından enerjinin büyük bir bölümünü ithal etmekteyiz (Tablo 1). Dolayısıyla, Türkiye gibi enerji üretimi ve tüketimi arasında büyük fark olan ülkelerde enerji tasarrufu tedbirlerinin alınması gerekmektedir.

Tablo 1. Yıllara göre enerji üretim, tüketim ve ithalat değerleri* (Anonim, 2009)

Yıllar	2000	2005	2010	2020
Tüketim	79.671	129.625	171.339	298.448
Üretim	27.593	34.116	47.329	70.238
İthalat	52.078	95.509	124.010	228.210
Üretim/Tüketim (%)	34.6	26.3	27.6	23.5

*BİN TEP : Bin ton eşdeğer petrol

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü binalarımızda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji tasarrufu tedbirleri öncelikli olarak yaşadığımız binalarda başlamalıdır. Binalarımızda enerji tasarrufunu sağlamanın en önemli yolu da bina dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulamalarıdır. Isı yalıtımı uygulaması ile bir binaya ait ısı kayıplarının yalıtımsız duruma göre nasıl değiştiği Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Aynı binanın yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki ısı kayıpları (Karakoç vd., 1999)

Isı yalıtımına gösterilen önemin her geçen gün arttığı ülkemizde yalıtım uygulamaları da çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle, ısı konfor koşullarının sağlanmasında dış duvar ısı yalıtım sistemlerinin doğru şekilde seçilmesi oldukça önemlidir. Düşük yalıtım kalınlığı, ısının içeriden dışarıya ya da dışarıdan içeriye geçmesini çok fazla engelleyemez. Sonuçta ısı konfor ve enerji tasarrufu üzerinde olumsuz bir etki oluşturur. Binalarımızda artan yalıtım kalınlığı ise istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarını dolayısıyla yakıt maliyetlerini azaltır. Fakat yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetini de arttıracaktır. Bu nedenle yakıt ve yalıtım maliyetinden oluşan toplam maliyet değeri belirli bir değere kadar azalır, daha sonra artışa geçer. Dolayısıyla, toplam maliyetin minimum olduğu bu noktada yalıtım için optimum değer söz konusudur. Bu nedenle binalarımıza uygulanacak olan yalıtım için optimum kalınlığın uygulanması maliyet açısından oldukça önemlidir.

Optimum yalıtım kalınlığı; yalıtım ve yakıt maliyetlerine, soğutma ve ısıtma yüklerine, ısıtma sistemlerinin verimliliğine, soğutma cihazlarının performansına, bina ömrüne ve faiz, enflasyon gibi ekonomik verilere bağlıdır. Yıllık ısıtma ve soğutma yükleri iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığı hesap edilirken ısıtma yükünün mü yoksa soğutma yükünün mü hesaba katılacağı 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 $21 \text{ \$/m}^2$ '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 etmiştir. (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 olarak hesap etmişlerdir enerji tasarrufları da bu üç şehir için sırasıyla $12.13 \text{ \$/m}^2$, $12.72 \text{ \$/m}^2$ ve $7.99 \text{ \$/m}^2$ olarak hesap etmişlerdir. (Daouas vd, 2010), yaptıkları çalışmada Tunus'daki binalarda iki farklı duvar tipi ve iki farklı yalıtım malzemesi için ömür maliyet analizini kullanmışlardır. En iyi sonuçlar sandviç tipi duvar yapısında genleştirilmiş 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 edilmişlerdir. (Yu vd, 2009), yaptıkları çalışmada Çin'deki dört şehir için P₁-P₂ ekonomik metodu ile farklı yönler için 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 hesaplar ile 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 2-17 cm arasında, enerji tasarrufları % 22-79 ve geri ödeme süreleri 1.3-4.5 yıl arasında değiştiğini hesap etmiştir. (Arslan ve Köse, 2006), Kütahya'da mevcut bir bina için farklı referans durumlarında ekserji metodunu kullanmışlardır. Ekserji üzerindeki yoğunlaşmış buharın etkisini hesaba katmışlardır. Denge sıcaklıklarının 18, 20 ve 22 C olduğunda durumlarda enerji tasarrufunu sırasıyla %74.9, %76.3 ve %78.8, optimum yalıtım kalınlıklarını 0.060 0.065, 0.075 m olarak belirlemişlerdir.

Binalarda optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili yapılmış birçok çalışma olmasına rağmen birçoğu ısıtma yüküne göre yapılmıştır. Sıcak bölgelerdeki binalarda soğutma amaçlı tüketilen enerji büyük ölçüde enerji tüketimine neden olmaktadır. 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 yönler için 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.

Türkiye dört farklı derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Bu çalışmada birinci derece-gün bölgesinde bulunan Antalya için hem ısıtma hem de soğutma yükleri güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz hesap edilmiştir. Binalardaki optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri ekonomik verilerde dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak Antalya'da görülen en düşük dış sıcaklık değerine göre yoğunlaşma kontrolü yapılmıştır.

2.BİNA ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİNİN HESABI

Binaların ısıtma ve soğutma yüklerini hesap etmek için ASHRAE tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir (Anonymous, 1993). Bütün bu metotlar arasından yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit yollarından biri kararlı bir yaklaşım olan derece-gün (ya da derece-saat) metodudur. Bu metot ısıtma ya da soğutma sezonu boyunca iç şartların sabit kaldığı ve dış sıcaklığın değişimi tarafından ısıtma ya da soğutma ekipmanlarının veriminin değişmediği varsayımına dayanır (Çengel, 1998). İhtiyaç duyulan ısıtma, soğutma işleminin yapılabilmesi için yapının içindeki ve dışındaki sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu hesaplamalarda iç ortam ısı kazançlarının, güneş radyasyon etkilerinin de dikkate alınması hassas hesaplamalar için daha uygun olacaktır.

Bu yöntem, bir bina için enerji ihtiyacının dış ortamdaki saatlik ortalama sıcaklık ile bir denge sıcaklığı arasındaki fark ile orantılı olduğunu varsayar. Denge sıcaklığı bölgeden bölgeye ülkeden ülkeye değişmekle birlikte birçok çalışmada 18.3 °C (65 F) olarak alınmıştır. Denge sıcaklığının altındaki dış ortam sıcaklıkları ısıtma yükü, üstündeki sıcaklıklar ise soğutma yükü hesabında kullanılır (Bolattürk, 2008).

Isıtma ve soğutma yüklerini hesap etmek için kullanılan denge sıcaklıkları birçok çalışmada farklı değerler 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 yüklerinin 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 ve soğutma derece saat değerleri hesap etmişlerdir. Isıtma 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.

Yıllık ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri dış ortam sıcaklığı ile belirlenen bir denge sıcaklığı arasındaki farkların saatlik olarak bütün bir yıl boyunca toplanması ile elde edilir. Bu çalışmada denge sıcaklıkları ısıtma için 18 °C soğutma için ise 26 °C kullanılmıştır. Aynı zamanda meteorolojiden Antalya iline ait uzun yıllar kaydedilmiş saatlik sıcaklık ve saatlik güneşlenme şiddeti verileri temin edilmiştir. Güneş hava sıcaklığının belirlenen denge sıcaklığından düşük olduğu durumlarda yıllık ısıtma derece-saat değerleri eşitlik (1)'de verilen denklem ile elde edilir.

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

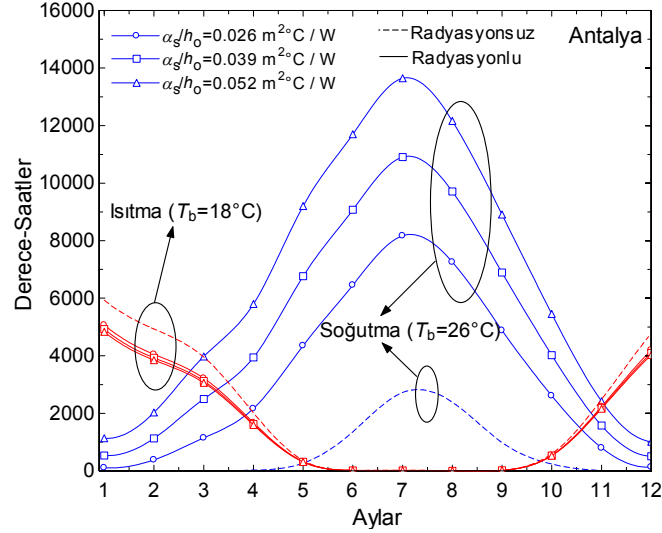
Burada; HDH yıllık ısıtma derece-saat değerini, T_b (°C) denge sıcaklığını, T_{sa} (°C) güneş hava sıcaklığını ifade eder. Parantezin üzerindeki + işareti sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını gösterir. Fakat denge sıcaklığı güneş hava sıcaklığından küçük, yani $T_{sa} > T_b$ olur ise yıllık soğutma derece-saat sayıları (2) eşitliğindeki 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 gösterir. Güneş hava sıcaklığı ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$T_{\text{sis}} = T_o + \frac{\alpha_s}{h_o} q_{\text{güneş}} - \frac{\epsilon \sigma (T_o^4 - T_{\text{surr}}^4)}{h_o} \quad (3)$$

(3) eşitliğinde, T_o saatlik ortalama dış ortam sıcaklığı, α_s yüzeyin güneş radyasyonunu yutma oranı, h_o dış yüzeydeki konveksiyon ve ışıma kombine ısı transfer katsayısı, $q_{\text{güneş}}$ yüzeye bağlı güneş radyasyonu ve ϵ yüzeyin yayma oranıdır. İkinci terim $T_{\text{surr}} \neq T_o$ olduğu zaman son terim mat yüzeydeki ısı kazanç etkisine işaret eder. $h_o = 17 \text{ W/m}^2\text{°C}$ alındığında, yazın tasarlanan değerler için α_s/h_o oranı açık ve koyu renkli yüzeyler için $0.026\text{--}0.052 \text{ m}^2\text{°C/W}$ olarak belirlenir. Bu çalışmada α_s/h_o oranı 0.026 , 0.039 ve $0.052 \text{ m}^2\text{°C/W}$ için ayrı ayrı hesap edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır (Çengel, 1998).



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

Isıtma derece-saat sayılarının, yılın soğuk aylarında daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bunun yanı sıra sıcak iklim bölgelerindeki illerde ilkbahar ve yaz döneminde ısıtma yükleri yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla bu dönemlerde hemen hemen hiç ısıtma ihtiyacına gerek duyulmadığı söylenebilir. Isıtma derece-saat sayılarına güneş radyasyonunun da etkisi ilave edildiğinde, bu sayılarda daha da azalma meydana gelmektedir. Güneş radyasyonu hesaba katıldığında ısıtma yüklerinde belirgin farklar oluşmaktadır, fakat bu farklar soğutma yüklerine nazaran oldukça düşüktür.

Radyasyonsuz soğutma yükleri Nisan (4. Ay) ayında başlayıp Ekim (10. Ay) ayına kadar görülmekte olup, özellikle yaz ortasında en yüksek değere ulaşmaktadır. Güneş radyasyonunun hesaba katılması ile belirgin bir şekilde soğutma yüklerinde artış meydana gelmiştir. Radyasyonlu soğutma yükleri bütün aylara belirgin bir şekilde yayılmış durumdadır. Ayrıca güneş radyasyonunun etkisiyle soğutma derece-saat sayılarındaki artış, α_s/h_o değerlerinin artmasıyla (yüzeyin koyulaşması) belirgin bir biçimde görülmektedir. Bu nedenle soğutma yükü hesaplarında güneşin radyasyon etkisi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

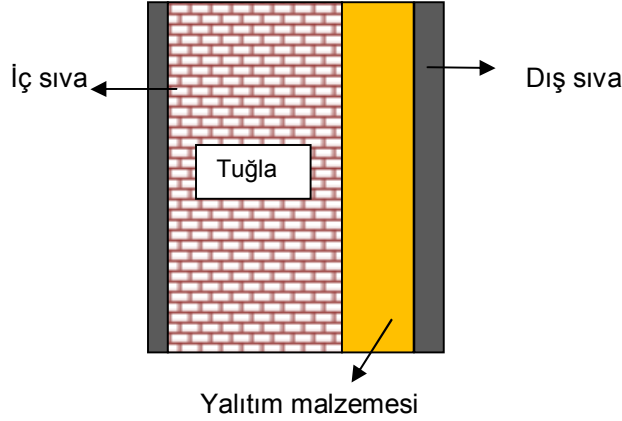
3. YILLIK TÜKETİLEN ENERJİ MİKTARI

Binalardaki ısı kayıplarının büyük bir bölümü dış duvarlardan meydana gelmektedir. Bilindiği gibi duvar yapıları iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. Antalya gibi sıcak iklime sahip bölgelerde tuğlalar sadece ince siva ile kaplanırken, soğuk iklim bölgelerinde sandviç tipi duvar yapıları tercih edilmektedir. Bu çalışmada, dış duvardan kaynaklanan ısı kayıplarını önlemek için uygulanacak olan yalıtımın optimum kalınlığı, polistiren sert köpük yalıtım malzemesi kullanılarak yapılmıştır. Duvarın kesit resmi Şekil 3' de görülmektedir.

Dış duvarların birim alanından meydana gelen ısı kaybı aşağıdaki denklem ile elde edilmektedir.

$$q=U(T_o-T_{s2}) \quad (4)$$

(4) eşitliğinde; 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 eşitlik (5)'de görüldüğü gibi hesap edilmektedir.



Şekil 3. Dış duvara ait kesit resminin gösterimi

$$U_{un} = \frac{1}{R_i + R_w + R_o} = \frac{1}{R_{tw}} \quad (5)$$

Burada, U_{un} yalıtımsız durumdaki duvarların toplam ısı transfer katsayısını, R_i ve R_o (m^2K/W), sırasıyla iç ve dış yüzeylerin ısı dirençleri, R_w yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direnci, R_{tw} yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direncidir. Yalıtım tabakasının ısı direnci ise eşitlik (6) ile ifade edilmektedir.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (6)$$

Burada, x (m) yalıtım malzemesinin kalınlığı, k (W/mK) ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarların ısı transfer katsayıları arasındaki fark eşitlik (7) ile elde edilmektedir.

$$\Delta U = U_{un} - U_{ins} = \frac{1}{R_{tw}} - \frac{1}{R_{tw} + \frac{x}{k}} \quad (7)$$

Yalıtımlı veya yalıtımsız durumdaki bina dış duvarlarından meydana gelen ısı kayıplarını karşılamak için ısıtma amaçlı tüketilen yıllık enerji miktarı eşitlik (8) ile hesap edilmektedir.

$$E_{A,H} = \frac{C_F U}{LHV \eta_s} HDH \quad (8)$$

Burada, HDH ısıtma derece-saat sayısı, C_F ($$/m³) ısıtmada kullanılan yakıt maliyeti, LHV (J/m^3) yakıtın alt ısı değeri, η_s ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Benzer şekilde soğutma sistemi için yıllık enerji miktarı aşağıda verilen eşitlik (9) denklemi yardımı ile hesap edilmektedir.$

$$E_{A,C} = \frac{C_E U}{COP} CDH \quad (9)$$

Burada, CDH yıllık soğutma derece-saat sayısı, C_E ($$/kWh) elektrik maliyeti ve COP soğutma sisteminin performans katsayısıdır.$

4. ÖMÜR MALİYET ANALİZİ İLE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI, ENERJİ TASARRUFU VE GERİ ÖDEME SÜRELERİNİN HESABI

Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken ömür maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Ömür maliyet analizi, yalıtılmış bir binada ısıtma ve soğutma maliyeti açısından bina ömrü boyunca elde edilen net kazancın belirlenmesinde çok sık kullanılan bir metottür. 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 P₁-P₂ metodu kullanılarak elde edilir. P₁ faiz ve enflasyon oranlarının eşit olup olmamasına göre eşitlik (10)'daki gibi iki farklı şekilde hesap edilmektedir.

$$P_1(N,i,d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] & i \neq d \\ \frac{N}{1+i} & i = d \end{cases} \quad (10)$$

P₂ ise aşağıda verilen denklem yardımı ile hesap edilmektedir.

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v (1+d)^{-N} \quad (11)$$

(11) eşitliğinde 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 P₂ değeri 1 alınabilir (Duffie ve Beckman, 1980).

Duvar yüzeyine uygulanacak olan ısı yalıtımının birim yüzey için maliyeti eşitlik (12) ile hesap edilmektedir.

$$C_{ins} = C_i x \quad (12)$$

Burada; C_i (\$/m³) yalıtım malzemesinin birim metre küp fiyatı, x (m) uygulanacak olan yalıtım kalınlığı, C_{ins} (\$/m²) ise birim yüzey için yalıtımın maliyetidir.

P₁-P₂ metoduna göre ısıtma için elde edilecek enerji tasarrufu eşitlik (13) ile hesap edilmektedir.

$$S_H = \frac{P_1 C_F \Delta U}{LHV \eta_s} HDH - P_2 C_i x \quad (13)$$

(13) eşitliğinde S_H (\$/m²) ısıtma için enerji tasarrufunu, C_F (\$/m³) yakıt (doğalgaz) maliyetini, η_s ile ısıtma sisteminin verimini, LHV (J/m³) ise yakıtın alt ısıl değerini ifade etmektedirler. Benzer şekilde soğutma sistemi için enerji tasarrufu denklemi eşitlik (14) ile elde edilmektedir.

$$S_C = \frac{P_1 C_E \Delta U}{COP} CDH - P_2 C_i x \quad (14)$$

Burada S_C (\$/m²) soğutma için enerji tasarrufunu, C_E (\$/kWh) elektrik maliyetini, COP soğutma sisteminin etkinlik katsayısını ifade etmektedirler.

Toplam maliyeti minimum yapacak olan yalıtımın kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre ısıtma ve soğutma için optimum yalıtım kalınlığı sırası ile eşitlik (15) ve (16)'da verilen denklemler yardımıyla hesap edilmektedir.

$$x_{op,H} = \left(\frac{P_1 C_F k HDH}{P_2 C_i LHV \eta_s} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (15)$$

$$x_{op,C} = \left(\frac{P_1 C_E k CDH}{P_2 C_i COP} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (16)$$

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 ile elde edilir. Bu çalışmada hesaba katılan i ve d farklı oranlar oldukları göz önüne alındığında, ısıtma ve soğutma için geri ödeme süreleri sırası ile eşitlik (17) ve (18)'de verilen denklemler yardımı ile hesap edilmektedir.

$$N_{P,H} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_i LHV \eta_e (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_F HDH} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (17)$$

$$N_{P,C} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_i COP (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_E CDH} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (18)$$

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 eşitlik (19) ve (20)'de verilen denklemler yardımı ile hesap edilmektedir.

$$C_{t,H} = P_1 E_{A,H} + P_2 C_{inf} \quad (19)$$

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

Bu eşitliklerde kullanılan $C_{t,H}$ (\$/m²) ve $C_{t,C}$ (\$/m²) sırasıyla ısıtma ve soğutma için toplam maliyeti ifade etmektedir.

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 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Hesaplarda kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değeri
<u>Yakıt</u>	
Doğalgaz (ısıtma için)	
Alt ısııl değeri, (LHV)	34.526 * 10 ⁶ J/m ³
Maliyet, C _F	0.481 \$/m ³
Verim, η _e	% 93
<u>Elektrik (soğutma için)</u>	
Maliyet, C _E	0.184 \$/kWh
Etkinlik katsayısı, COP	2.5
<u>Yalıtım</u>	
Sıkıştırılmış Polistiren (XPS)	
İletkenlik, k	0.028 W/mK
Maliyet, C _i	133 \$/m ³
<u>Dış duvarlar</u>	
2 cm iç sıva (k=0.87 W/mK)	
19 cm oyuk tuğla (k=0.45 W/mK)	R _{tw} =0.649 m ² K/W
x _{op} cm yalıtım	
3 cm iç sıva (k=0.87 W/mK)	
<u>Ekonomik veriler</u>	
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

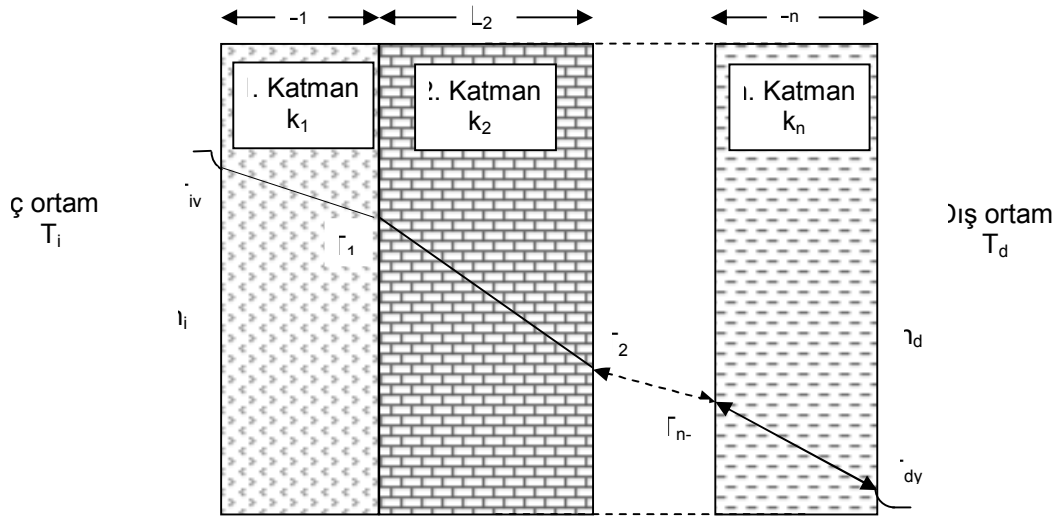
5. BİNA DUVARLARININ YOĞUŞMA KONTROLÜ

Yalıtım yapılırken su buharı hareketlerinin de göz önüne alınması gerekir. Aksi halde su buharı difüzyonu sonucu olan yoğuşma, yapı malzemeleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğu gibi ısı transferinin de artmasını sağlar. Bu da enerji kaybına neden olur. Yoğuşma önlenemez ve yapı içerisinde yayılırsa duvarlarda zamanla nem yüzünden 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 (Anonim, 1999).

Glaser yöntemi için pratik hesaplamalarda kullanılan eşdeğer hava tabakası kalınlığının hesabı eşitlik (21) ile hesap edilmektedir (Karakoç vd, 1999).

$$S_d = \mu \cdot L \quad (21)$$

Burada, S_d (m) eşdeğer hava tabakası kalınlığını, μ buhar difüzyonu direnç katsayısı, L (m) duvar tabaka kalınlığı belirtmektedir (Altınışik, 2006).



Şekil 4. Duvar katmanlarının gösterimi

Şekil 4'de bir dış duvarı oluşturan katmanların kesit resmi görülmektedir. Duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları eşitlik (22) ve (23) ile ayrı ayrı hesap edilmektedir.

$$T_{iy} = T_b - \frac{q}{h_i} \quad (22)$$

$$T_{dy} = T_{sa} + \frac{q}{h_d} \quad (23)$$

Burada, T_{iy} (°C) iç yüzey sıcaklığını, T_{dy} (°C) dış yüzey sıcaklığını, h_i (W/m²K) iç yüzey ısı taşınım katsayısını, h_d (W/m²K) dış yüzey ısı taşınım katsayısını ifade etmektedir.

Duvar katmanları arasındaki ara yüzey sıcaklıkları aşağıda verilen eşitlik (24)'deki denklem yardımı ile her bir katman arası için ayrı ayrı hesap edilmektedir.

$$T_n = T_{n-1} - \left(\frac{L_n}{k_n} \cdot q \right) \quad (24)$$

Yoğuşma kontrolü için iç ve dış ortamlar için iklim şartları Tablo 3 ile verilmiştir. Antalya için dış ortam sıcaklığı meteorolojiden elde edilen saatlik sıcaklık verilerinden elde edilen en düşük sıcaklık değeri hesaba katılmıştır.

Tablo 3. İç ve dış iklim sınırlandırma şartları tablosu

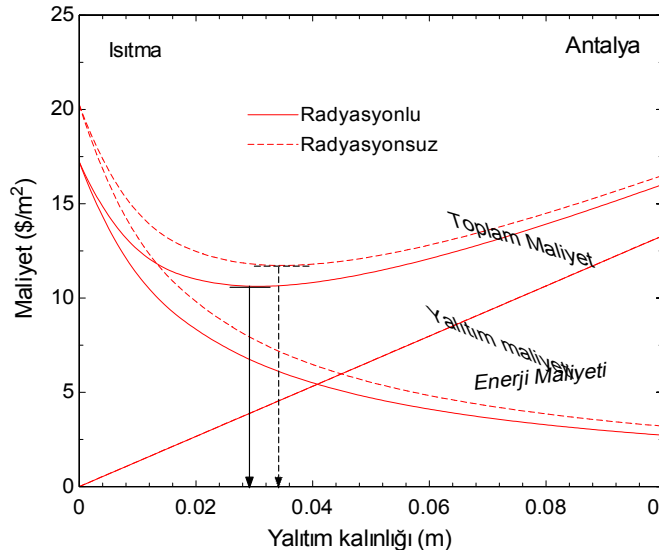
Yoğuşma periyodu	İç iklim şartları	Dış iklim şartları
Hava sıcaklığı (°C)	18	-3.5
Bağıl nem (%)	50	80
Doymuş su buharı basıncı (Pa)	2064	456.4
Su buharı kısmi basıncı (Pa)	1032	365.1

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

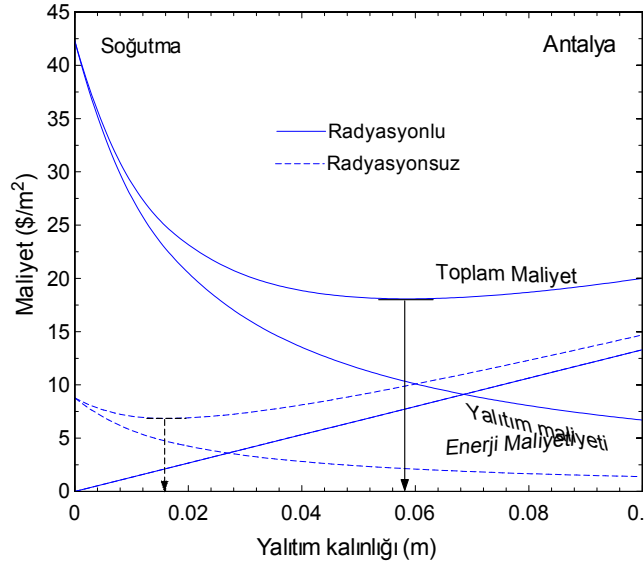
SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye'nin birinci derece-gün bölgesinde bulunan Antalya ili için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yükleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda ısıtma derece-saat sayıları için 18 °C, soğutma derece-saat sayıları için ise 26 °C denge sıcaklığı kullanılmıştır.

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. Yalıtım kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki Şekil 5 ve Şekil 6'da ısıtma ve soğutma yükleri için ayrı ayrı verilmiştir.

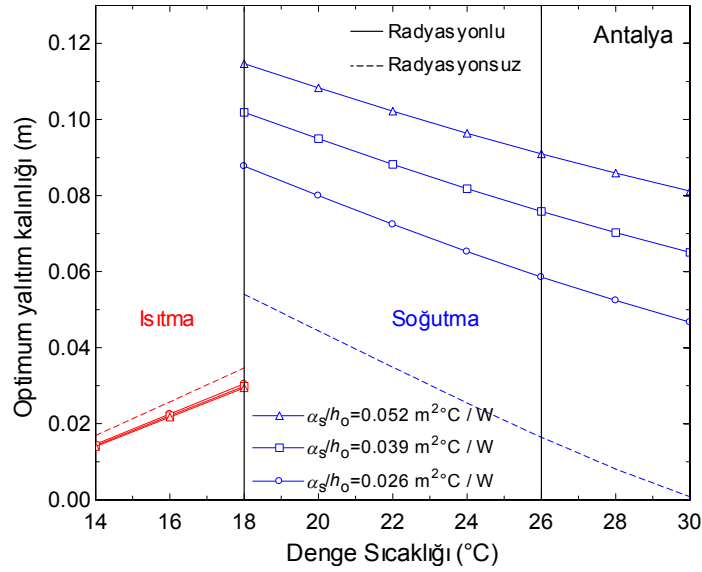


Şekil 5. Antalya iline ait ısıtma yükü için radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) ve radyasyonsuz değerler arasındaki yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi



Şekil 6. Antalya iline ait soğutma yükü için radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) ve radyasyonsuz değerler arasındaki yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi

Toplam maliyeti minimum eden noktadaki yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını değeri verir. Güneş radyasyonunun ısıtma yüküne etkisi göz önüne alındığında optimum yalıtım kalınlığı azalırken, soğutma yüküne etkisi hesaba katılır ise optimum yalıtım kalınlığı artmaktadır. Çeşitli denge sıcaklıklarında hesap edilen güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



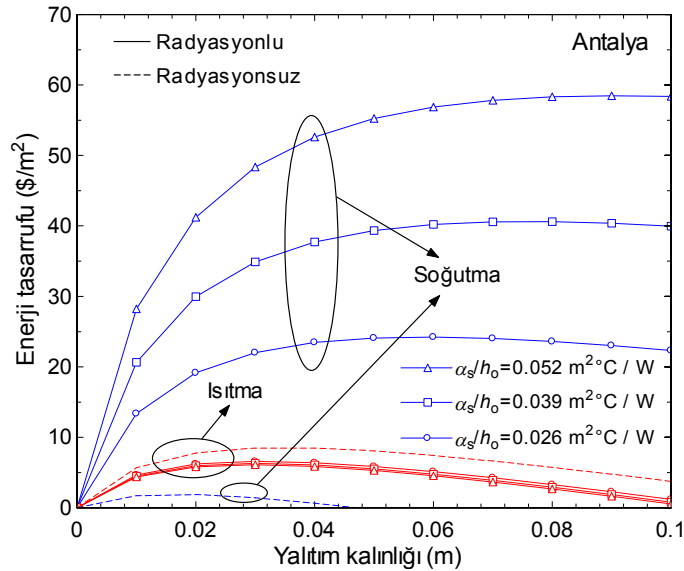
Şekil 7. Antalya için farklı denge sıcaklıklarındaki radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıkları

Burada 18 °C'lik denge sıcaklığı hem ısıtma hem de soğutma yükü için ortak sıcaklıktır. Ancak uygulamada bu denge sıcaklıkları ısıtma yükü için daha küçük soğutma yükü için daha büyük değerler alınabilmektedir. Örneğin soğutmada denge sıcaklığı 26 °C olabilmektedir. Denge sıcaklığı değerlerinin artması ile ısıtma yüküne göre optimum yalıtım kalınlığı artarken, soğutma yüküne göre yapılan hesaplamalarda ise bu değer azalmaktadır. Güneş radyasyonunun optimum yalıtım kalınlığı üzerine etkisi soğutma yüküne göre yapılan hesaplamalarda ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden insanların konfor şartları için tolera edebilecekleri denge sıcaklıklarının iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Antalya ilinde güneş radyasyonsuz durumda optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma yükü için 0.034 m iken soğutma durumunda bu değer 0.016 m'dir. Güneş radyasyonunu dikkate alınarak yapılan işlemlerde ise bu değerler sırasıyla $\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$ değeri için ısıtmada 0.0305 m, soğutmada ise 0.0585 m değerleri elde edilmektedir. Koyu renkli bina yüzeyleri için ise ($\alpha_s/h_o=0.052 \text{ m}^2\text{C/W}$) ısıtmada 0.0294 m, iken soğutmada bu değer 0.0909 m elde edilmektedir. Görüldüğü gibi bina yüzeyinin koyu renk olması ve güneş radyasyonunun da hesaba katılmasıyla optimum yalıtım kalınlıklarında önemli oranda artış meydana gelmektedir.

Enerji tasarrufları optimum yalıtım kalınlığı değerine kadar artarken bu değerden sonra düşüş göstermektedir (Şekil 8). 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. Bu durum artan bina koyuluğu ile önemli hale gelmekte olup, koyu binalarda (güneş radyasyonundan daha fazla etkilenen binalarda) yalıtımla daha da fazla enerji tasarrufları sağlanmaktadır.



Şekil 8. Antalya ilinin radyasyonlu ve radyasyonsuz değerleri için enerji tasarrufu yalıtım kalınlığı ilişkisi

Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz olarak ayrı ayrı hesap edilerek Tablo 4 ile gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere, güneşlenme şiddeti etkisi göz ardı edilen binalarda yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri açısından ısıtma yüküne göre elde edilen değerler ön plana çıkmaktadır. Ancak soğutma periyodunun daha uzun olduğu Antalya bölgesi için güneşlenme şiddetinin etkisi ve binaların koyu ve açık renkli olması hususları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda binalarda yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri ön plana çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre Antalya gibi ısıtma sürecinin az, güneşlenme şiddetinin yoğun olduğu bölgeler için yalıtım kalınlıklarının belirlenmesinde soğutma yükü dikkate alınmalıdır.

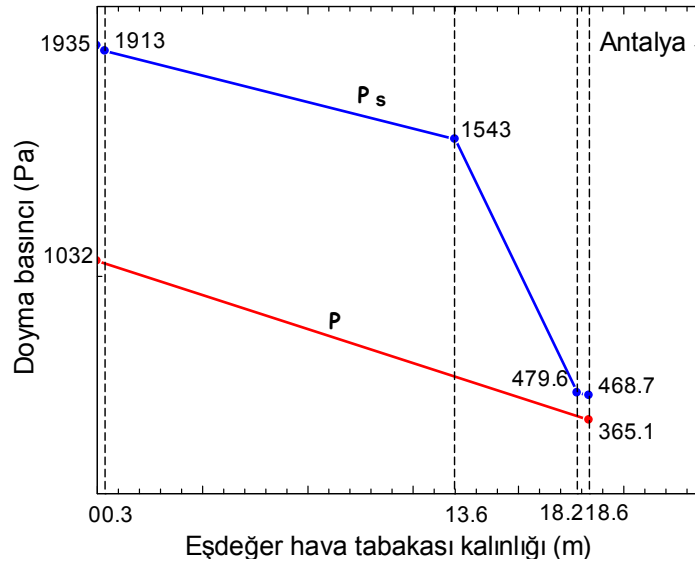
Tablo 4. Antalya ilinin ısıtma ve soğutma denge sıcaklıklarına göre yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri

		Optimum yalıtım kalınlığı, (m)		Enerji tasarrufu, (\$/m ²)		Geri ödeme süresi, (yıl)	
		Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
Radyasyonsuz		0.0346	0.0164	8.507	1.907	3.62	5.45
Radyasyonlu	$\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$	0.0305	0.0585	6.585	24.23	3.92	2.52
	$\alpha_s/h_o=0.039 \text{ m}^2\text{C/W}$	0.0298	0.0758	6.303	40.62	3.98	2.06
	$\alpha_s/h_o=0.052 \text{ m}^2\text{C/W}$	0.0294	0.0909	6.113	58.47	4.01	1.78

Radyasyonlu ve radyasyonsuz olarak elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına göre yoğuşma kontrolü yapıldığında su buharı difüzyonu eşdeğer hava tabakası kalınlığı ile katmalar arası sıcaklık değerlerine karşılık gelen doyma basınçları araştırılmıştır. Sıkıştırılmış polistiren yalıtım malzemesi kullanılarak duvar yapısına ait özellikler Tablo 5'de görülmektedir. Tablodaki yalıtım kalınlığı değeri güneş radyasyonlu soğutma yüküne ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$) göre belirlenen değer hesaba katılmıştır.

Tablo 5. Yoğuşma suyunun oluşması halinde söz konusu difüzyon grafiği için özel çizelge

No	Tabaka	Tabaka kalınlığı (L)	Su Buharı Difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı (S_d)	Isı iletkenlik katsayısı (k)	Yüzeysel ısı taşınım direnci, malzemenin ısı direnci ($1/\alpha, 1/\Lambda$)	Sıcaklık (T)	Doymuş su buharı basıncı (P)
		m	-	m	W/(mK)	m ² K/W	°C	Pa
	İç ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	0.13	18	2064
1	İç sıva	0.02	15	0.3	0.87	0.023	16.97	1935
2	Delikli tuğla	0.19	70	13.3	0.45	0.422	16.79	1913
3	Yüzeyi pürüzlü ve kanallı levhalar	0.058	80	4.64	0.028	2.071	13.46	1543
4	Dış sıva	0.03	15	0.45	0.87	0.034	-2.91	479.6
	Dış ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	0.04	-3.18	468.7
							-3.5	456.4
$\Sigma S_d=$				18.69	$1/U=$	2.721		



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

Burada alttaki doğrusal çizgi iç ve dış ortam sıcaklıklarına karşılık gelen doymuş su buharı kısmi basınçlarını ifade etmektedir. Üstte bulunan çizgi ise katmanlar arasındaki sıcaklık değerlerine karşılık gelen doymuş su buharı basınçlarıdır. Eğer doymuş su buharı basınç eğrisi kısmi basınç eğrisinin altında bir bölgede çıkar ise yoğuşma meydana gelir. Antalya için radyasyonlu soğutma yüküne göre hesap edilen optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak yoğuşma kontrolü yapılmış ve yoğuşmanın olmadığı gözlenmiştir. Meteorolojiden elde edilen veriler incelendiğinde Antalya ilinde ölçülen en düşük sıcaklık değeri $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ile en düşük hangi sıcaklık değerine kadar yoğuşmanın önleneyeceği de araştırılmıştır. Buna bağlı olarak güneş radyasyonlu soğutma yüküne ($\alpha_s/h_o=0.026\text{ m}^2\text{C/W}$) göre elde edilen optimum yalıtım kalınlığı ile $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar yoğuşma gözlenmemiştir. Sıcak iklim bölgelerinde bu kadar düşük sıcaklıklar hemen hemen hiç görülmemiştir. Dolayısıyla, güneşlenme şiddetinin de dikkate alındığı soğutma yükünden hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları aynı zamanda bölgedeki çok düşük sıcaklıklarda yoğuşma oluşumunu engellemektedir.

TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kuralları" çerçevesinde bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri ısıtma yüküne göre verilmiş olup, birinci bölge bina duvarlarının tamamı için $U_D=0.8\text{ W/m}^2\text{K}$ şeklindedir. Antalya'da elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarına göre elde edilen U değeri radyasyonsuz ve radyasyonlu değerler için Tablo 6 ile verilmiştir.

Tablo 6. Antalya bina dış duvarları için ısıtma ve soğutma yüküne göre tavsiye edilen U değerleri

Isıtma	$\alpha_s/h_o\text{ (m}^2\text{C/W)}$	U (W/ m ² K)
Radyasyonsuz	-	0.530
Radyasyonlu	0.026	0.575
	0.039	0.583
	0.052	0.588
Soğutma		
Radyasyonsuz	-	0.809
Radyasyonlu	0.026	0.365
	0.039	0.297
	0.052	0.256

Enerji tasarrufu açısından değerlendirildiğinde TS 825'in tavsiye ettiği U değerleri 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.

SONUÇ

Sonuç olarak sıcak iklim bölgelerindeki binalarda soğutma sistemleri için harcanan elektrik enerjisi miktarı ısınma amaçlı tüketilen yakıt miktarına oranla daha fazladır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılırken bu bölgelerde güneş radyasyonunun etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda güneşin radyasyon etkisinin hesaba katıldığı soğutma yükü esas alınmalıdır. Yalıtım uygulamasının yanı sıra bina dış duvarları için yoğuşma kontrolü de en az yalıtım kadar önemlidir. Çünkü yoğuşmaya karşı önlem alınmamış duvarın yapısında değişen iklim koşullarına bağlı olarak su biriktirmekte olup, ısı transferini hızlandırmaktadır. Ayrıca yoğuşmanın gerçekleştiği yerlerde yapı elemanları ve yalıtım malzemesi zarar görmektedir.

Semboller

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

Altsimgeler

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

KAYNAKLAR

[1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, www.enerji.gov.tr, 2009.

[2] BOLATTÜRK, A., "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, 2008.

- [3] HASAN, A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost", Applied Energy, 63, 115-124, 1999.
- [4] MOHSEN, M.S., AKASH, B.A., "Some Prospects of Energy Saving in Buildings", Energy Conversion & Management, 42, 1307-1315, 2001.
- [5] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL B., "Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving", Applied Thermal Engineering, 23, 473-479, 2003.
- [6] DAOUAS, N., HASSEN, H., AISSIA, H., "Analytical Periodic Solution For The Study of Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls in Tunisia", Applied Thermal Engineering, 30, 319-326, 2010.
- [7] YU, J., YANG, C., TIAN, L., LIAO, D., "A Study on Optimum Insulation Thickness of External Walls in Hot Summer and Cold Winter Zone of China" Applied Energy, 86, 2520-2529, 2009.
- [8] BOLATTÜRK, A., "Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Zones in Turkey", Applied Thermal Engineering, 26, 1301-1309, 2006.
- [9] AL-KHAWAJA, M.J., "Determination and Selecting The Optimum Thickness of Insulation for Buildings in Hot Countries by Accounting for Solar Radiation", Applied Thermal Engineering, 24, 2601-2610, 2004.
- [10] ASHRAE HANDBOOK, "Fundamentals Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers", 1993.
- [11] ÇENGEL, Y.A., "Heat Transfer: A Practical Approach 1", McGraw-Hill, 853, 1998.
- [12] SATMAN, A., YALÇINKAYA, N., "Heating and Cooling Degree-Hours for Turkey", Energy, 24, 833-840, 1999.
- [13] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., "Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey", Applied Energy, 69, 269-283, 2001.
- [14] PAPAİKOSTAS, K., KYRIAKIS, N., "Heating and Cooling Degree-Hours for Athens and Thessaloniki, Greece", Renewable Energy, 30, 1873-1880, 2005.
- [15] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., "Solar Engineering Of Thermal Processes. A Wiley-Interscience Publication, 919s. Wisconsin, 1980.
- [16] KARAKOÇ, T.H., BINYILDIZ, E., TURAN, O., "Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı. ODE Teknik Yayınları, 212, İstanbul, 1999.
- [17] ALTINIŞIK, K., "Isı Yalıtımı", Nobel Yayın Dağıtım, 954, 276s. Ankara, 2006.
- [18] TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 1999. Resmi Gazete 23725.

ÖZGEÇMİŞ

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 başlamış ve 2011 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2010 yılında İstanbul'da bir gaz dağıtım şirketinde yetkili mühendis olarak çalışmıştır.