

SICAK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARDA ISITMA VE SOĞUTMA YÜKÜNE GÖRE TESPİT EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Cüneyt DAĞIDIR
Ali BOLATTÜRK

ÖZET

Bu çalışmada birinci iklim bölgesinde bulunan İzmir ili için güneş radyasyonunun etkisi de hesaba katılarak soğutma ve ısıtma yüküne göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Meteorolojide uzun yıllar kaydedilmiş olan saatlik sıcaklık ve saatlik güneşlenme şiddeti verileri kullanılarak öncelikle güneş-hava sıcaklıkları tespit edilmiştir. Daha sonra ısıtma ve soğutma yükleri belirli bir denge sıcaklığında derece-saat yöntemine göre hesaplanmıştır. Ayrıca güneş radyasyonunun dikkate alınarak ve alınmayarak derece-saat değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre İzmir ilindeki bina dış duvarları için gerekli optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri faiz, enflasyon, ömür gibi ekonomik datalar da kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sıcak iklim bölgelerindeki binalarda yalıtım hesaplamalarının soğutma yüklerine göre yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Optimum yalıtım kalınlığı, derece-saat yöntemi, soğutma yükü, güneş-hava sıcaklığı, enerji tasarrufu, yoğunlaşma.

ABSTRACT

In this study, the optimum insulation thickness is calculated according to cooling and heating loads for city of Izmir situated in the first climate zone, taking into account the effect of solar radiation. Priority is given to sol-air temperatures which are determined using many years of recorded data of hourly temperature and sun intensity values measured by Meteorology. Then, heating and cooling loads are calculated in a specified equilibrium temperature according to the degree-hours method. In addition, degree-hour values were obtained taking into account with or without the effect of solar radiation. According to these values the optimum insulation thickness for the external walls of buildings in the province of Izmir were determined by using economic data such as the energy savings and payback periods, interest, inflation and life cycles. The result show that the insulation calculation of the buildings which are located in hot climate regions must be calculated according to cooling loads.

Key Words: Optimum insulation thickness, degree-hours method, cooling load, sol-air temperature, energy saving, condensation.

1. GİRİŞ

Dünya'da yaşanan enerji krizleri, enerji üretimi, tüketimi ve enerji politikalarında önemli değişikliklere yol açmıştır. Önceki senelerde kolaylıkla tüketilen enerji için tasarruf yolları aranmaya başlanmış ve enerji tasarruf politikaları geliştirilmiştir. Petrole olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, kömür ve doğalgaz önem kazanmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından daha çok yararlanması için çalışmalara başlanmıştır.

Önümüzdeki yüzyılda fosil enerji kaynaklarının ne kadar dayanabileceği tartışılırken dünyamız bu kez yaşamsal bir çevre krizi ile karşılaşmıştır. Sera etkisi ve ozon tabakasının delinmesi sonucunda dünyanın ısınması ve bunun neden olacağı sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle enerji tasarruf tedbirleri alarak aynı enerjiyi daha az yakıt kullanarak sağlamak gerekmektedir [1].

Ülkemizdeki enerji üretimi, tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğunu karşılayamadığından çoğunlukla ithal edilmektedir. Nüfus artışı, kentleşme, büyük şehre göç ve yaşam standartlarının gelişmesi ile enerji tüketimi hızla artmaktadır. Enerji üretimi ve tüketimi arasında büyük fark olan Türkiye gibi ülkelerin mümkün olduğu kadar enerji tasarrufu tedbirlerini alması gerekmektedir (Tablo 1). Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bir bölümü binalarımızda ısıtma ve soğutma amaçlı olarak 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.

Tablo 1. Yıllara Göre Enerji Üretim, Tüketim ve İthalat Değerleri* [2].

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

*BIN TEP: Bin ton eşdeğer petrol

Kış aylarında ısı kayıplarını yaz aylarında ise ısı kazançlarını azaltmak için en etkili yol ısı yalıtımıdır. Bilindiği gibi 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 [3]. 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 yükü mü yoksa soğutma yükü mü temel olarak hesaplanacağı önceden belirlenmelidir [4].

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Hasan 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 [5]. Mohsen ve Akash, 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. Ayrıca polistiren malzemenin duvar ve çatı yalıtımında diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [6]. Çomaklı ve Yüksel, 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 sıra ile $12.13 \text{ \$/m}^2$, $12.72 \text{ \$/m}^2$ ve $7.99 \text{ \$/m}^2$ olarak hesap etmişlerdir [7]. Daouas ve arkadaşları, 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 [8]. Yu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada Çin 'deki dört şehir için P_1 - P_2 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 [9]. Bolattürk, 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 [10].

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, 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 [11]. Bolattürk, 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 [4].

Bilindiği gibi Türkiye dört farklı derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Bu çalışmada birinci derece-gün bölgesinde bulunan İzmir 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 İzmir'de görülen en düşük dış sıcaklık değerine göre yoğuşma kontrolü yapılmıştır.

2. BİNALARIN ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİ

Binanın yıllık enerji tüketimi ve maliyeti, ısıtma veya soğutma yükü dikkate alınarak belirlenmelidir. Binaların 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 [12]. Bütün bu metodlar arasından yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit ve en sezgisel yolu kararlı bir yaklaşım olan derece-gün (ya da derece-saat) metodudur. Bu metod ısıtma ya da soğutma sezonu boyunca iç şartların sabit kaldığı ve dış sıcaklığın değişimi tarafından ısıtma ya da soğutma ekipmanlarının veriminin değişmediği varsayımına dayanır [13]. İhtiyaç duyulan ısıtma, soğutma işleminin yapılabilmesi için yapının içindeki ve dışındaki sıcaklık değerlerinin bilinmesi ve değerlendirilmesi gerekir. Bu hesaplamalarda iç ortam ısı kazançlarının, güneş radyasyon etkilerinin de dikkate alınması hassas hesaplamalar için daha uygun olacaktır. Yapının iç konforunun sağlanması ve korunması amacıyla geliştirilen derece-gün (ya da derece-saat) sayıları, yaygın bir kullanım alanına sahip olup, değişik amaçlar için kullanılmaktadır.

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 [4].

Isıtma ve soğutma yüklerini hesap etmek için kullanılan denge sıcaklıkları birçok çalışmada farklı değerler alınmıştır. Satman ve Yalçınkaya, 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 [14]. Büyükalaca ve arkadaşları, 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 [15]. Büyükalaca ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada en az 14 yıllık uzun dönem sıcaklık değerleri

kullanılarak, farklı denge noktası sıcaklıkları için ısıtma derece gün ve soğutma derece gün bölgelerini oluşturmuşlardır. Isıtma derece-gün değerleri için 14, 16 ve 18 °C, soğutma derece-gün değerleri için ise 22, 24 ve 26 °C denge noktası sıcaklıklarını uygun görmüşlerdir. İllerin farklı ısıtma ve soğutma derece gün bölgelerinde yer alabildiği tespit edilmişler ve soğutma uygulamaları içinde soğutma derece-gün bölgelerinin tespit edilmesi gerektiğini söylemişlerdir [16]. Papakostas ve Kyriakis, 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 [17].

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 İzmir 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.

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

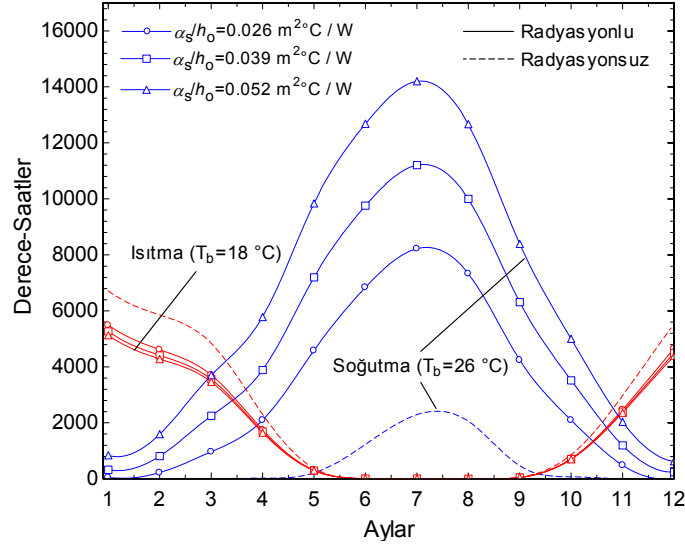
Burada; HDH yıllık ısıtma derece-saat değerini, T_b (°C) denge sıcaklığını, T_{sa} (°C) güneş hava sıcaklığını ifade eder. Parantezin üzerindeki + işareti sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını gösterir. Fakat denge sıcaklığı güneş hava sıcaklığından küçük, yani $T_{sa} > T_b$ olur ise yıllık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

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

Burada; CDH yıllık soğutma derece-saat değerini gösterir. Güneş hava sıcaklığı ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

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

(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, $q_{güneş}$ yüzeye bağlı güneş radyasyonu ve ε yüzeyin yayma oranıdır. İkinci terim $T_{surr} \neq T_o$ 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 0.026–0.052 m²°C/W olarak belirlenir. Bu çalışmada α_s/h_o oranı 0.026, 0.039 ve 0.052 m²°C/W için ayrı ayrı hesap edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır [13].



Şekil 1. İzmir ilinin Güneş Radyasyonlu ve Radyasyonsuz Değerleri İçin Aylık Isıtma ve Soğutma Yükleri

İzmir'e ait güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz olarak hesaplanan aylık ısıtma ve soğutma yükleri Şekil 1 ile gösterilmiştir. Güneş radyasyonunun ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisi α_s/h_o oranının artması ile daha belirgin görülmektedir. Özellikle sıcak iklim bölgesinde bulunan İzmir gibi illerin soğutma yükü hesabında güneş radyasyonunun oldukça önemli bir etkisi vardır.

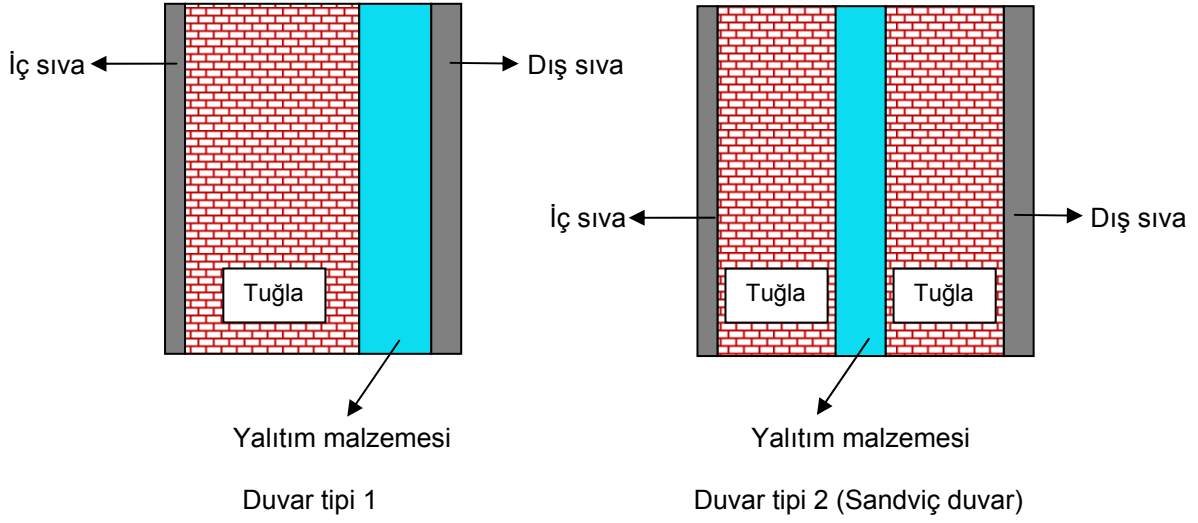
3. BİNALARDA TÜKETİLEN YILLIK ENERJİ MİKTARI

Konutlardaki en büyük ısı kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerden oluşan ısı kayıpları oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Ancak genel olarak, bina yüksekliği arttıkça dış duvarlardan gerçekleşen ısı kayıp oranlarının da arttığı görülmektedir. Isı kayıplarının oranı binalarımızın tek katlı ya da çok katlı olmasına göre farklılık arz etmektedir.

Tablo 2. Tek Katlı ve Çok Katlı Binalardaki Ortalama Isı Kayıpları Oranları [18].

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

Tablo 2'den görüldüğü gibi binalarımızdaki ısı kayıplarının büyük bir bölümü dış duvarlarımızdan meydana gelmektedir. Bilindiği gibi duvar yapıları iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. İzmir gibi sıcak iklime sahip bölgelerde tuğlalar sadece ince sıva ile kaplanırken, soğuk iklim bölgelerinde sandviç tipi duvar yapıları tercih edilmektedir. Bu çalışmada dış duvardan kaynaklanan ısı kayıplarını önlemek için dış duvarlara uygulanacak olan yalıtımın optimum kalınlığı hesabı her iki duvar tipi için iki farklı yalıtım malzemesi kullanılarak yapılmıştır. Duvar tiplerine ait kesitler Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. İki Farklı Duvar Tipine Ait Kesitlerin Gösterimi

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

$$q=U(T_i-T_{e,s}) \quad (4)$$

(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.

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

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.

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

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 ($\$/m^3$) 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.

$$E_{AC} = \frac{C_E U}{COP} CDH \quad (9)$$

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

3. ÖMÜR ÜZERİNDEN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI, ENERJİ TASARRUFU VE GERİ ÖDEME SÜRELERİNİN HESABI

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 eşitlik (10)'daki gibi iki farklı şekilde hesap edilmektedir.

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

P_2 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 P_2 değeri 1 alınabilir [19].

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 metreküp fiyatı, x (m) uygulanacak olan yalıtım kalınlığı, C_{ins} (\$/m²) ise birim yüzey için yalıtımın maliyetidir.

P_1 - P_2 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 ısı 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 maliyeti, 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.

$$x_{op,H} = \left(\frac{P_1 C_F k H D H}{P_2 C_1 L H V \eta_s} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (15)$$

$$x_{op,C} = \left(\frac{P_1 C_E k C D H}{P_2 C_1 C O P} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (16)$$

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.

$$N_{P,H} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_1 L H V \eta_s (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_F H D H} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (17)$$

$$N_{P,C} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_1 C O P (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (d-i)}{C_E C D H} \right]}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (18)$$

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.

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

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

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 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Hesaplarda Kullanılan Parametreler ve Değerleri

Parametre	Değeri
Yakıt	
Doğalgaz (Isıtma için)	
Alt ısııl değeri, (LHV)	$34.526 * 10^6 \text{ J/m}^3$
Maliyet, C_F	$0.481 \text{ \$/m}^3$
Verim, η_g	% 93
Elektrik (soğutma için)	
Maliyet, C_E	$0.184 \text{ \$/kWh}$
Etkinlik katsayısı, COP	2.5
Yalıtım	
Sıkıştırılmış Polistiren (XPS)	
İletkenlik, k	0.028 W/mK
Maliyet, C_I	$144 \text{ \$/m}^3$
Genleştirilmiş Polistiren (EPS)	
İletkenlik, k	0.034 W/mK
Maliyet, C_I	$85 \text{ \$/m}^3$
Dış duvarlar	
Duvar tipi 1	$R_{tw,1}=0.649 \text{ m}^2\text{K/W}$
Duvar tipi 2 (Sandviç duvar)	$R_{tw,2}=0.827 \text{ m}^2\text{K/W}$
Ekonomik veriler	
Faiz oranı, i	% 16
Enflasyon oranı, d	% 10
Ömür, N	10
Denge sıcaklıkları	
Isıtma için, T_b	18°C
Soğutma için, T_b	26°C

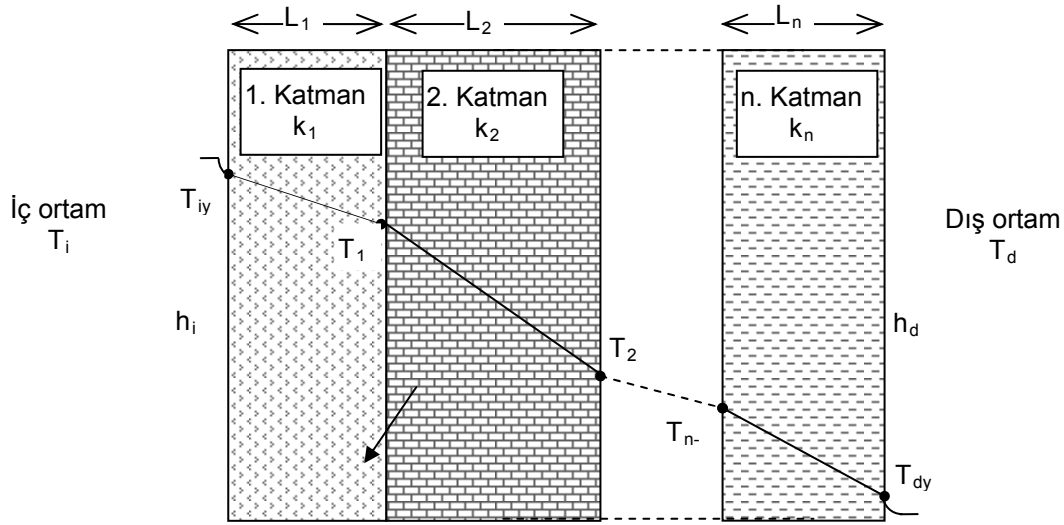
4. DIŞ DUVARLARDAKİ YOĞUŞMA KONTROLÜ

Isıl konforu ve enerji tasarrufunu sağlamak için bina dış duvarlarına ısı yalıtımı yapılmaktadır. Ancak, yalıtım yapılırken su buharı hareketlerinin de göz önüne alınması gerekir. Çünkü 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.

Yapı elemanlarının içinde yoğuşma olması, yapı elemanının iki tarafındaki farklı sıcaklıklar ve farklı nem yüzdesi sonucu oluşan farklı buhar basınçları, her elemandaki çok küçük gözenekler yardımıyla su buharının hareket etmesine neden olur. Glaser yöntemi için pratik hesaplamalarda kullanılan eşdeğer hava tabakası kalınlığının hesabı eşitlik (21) ile hesap edilmektedir [20].

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

Burada, S_d (m) eşdeğer hava tabakası kalınlığını, μ buhar difüzyonu direnç katsayısı, L (m) duvar tabaka kalınlığı belirtmektedir [21].



Şekil 3. Duvar Katmanlarının Gösterimi

Şekil 3'de bir dış duvarı oluşturan katmanların kesit resmi görülmektedir. Duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları eşitlik (22) ve (23) ile ayrı ayrı hesap edilmektedir.

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

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

Burada, T_{iy} ($^{\circ}\text{C}$) iç yüzey sıcaklığını, T_{dy} ($^{\circ}\text{C}$) dış yüzey sıcaklığını, h_i ($\text{W/m}^2\text{K}$) iç yüzey ısı taşınım katsayısı, h_d ($\text{W/m}^2\text{K}$) 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.

$$T_i = T_{i-1} - \left(\frac{L_i}{k_i} \cdot q \right) \quad (24)$$

Yoğuşma kontrolü için iç ve dış ortamlar için iklim şartları Tablo 4 ile verilmiştir. İzmir için dış ortam sıcaklığı meteorolojiden elde edilen saatlik sıcaklık verilerinden elde edilen en düşük sıcaklık değeri hesaba katılmıştır.

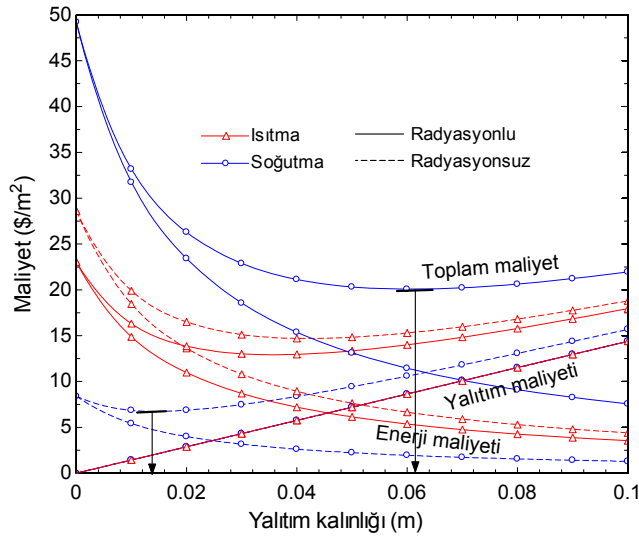
Tablo 4. İç Ve Dış İklim Sınırlandırma Şartları Tablosu

Yoğuşma periyodu	İç iklim şartları	Dış iklim şartları
Hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	18	-5
Bağıl nem (%)	50	80
Doymuş su buharı basıncı (Pa)	2064	401.8
Su buharı kısmi basıncı (Pa)	1032	321.4

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.

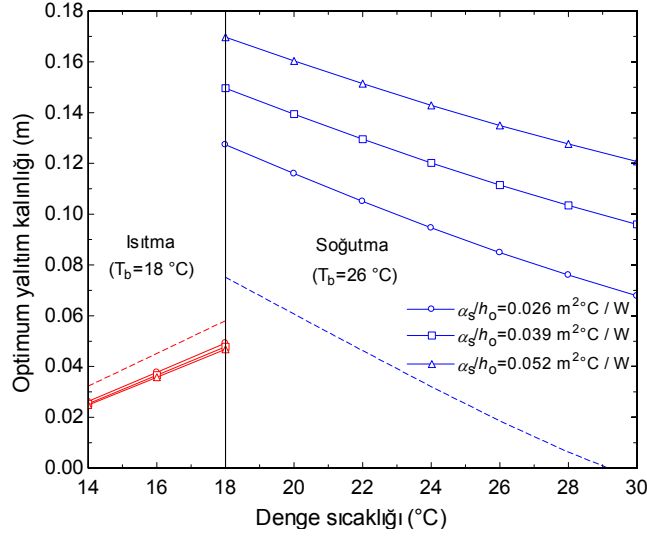
SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin birinci derece-gün bölgesinde bulunan İzmir ili için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yükleri kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Hesaplamalarda ısıtma derece-saat sayıları için 18 °C, soğutma derece-saat sayıları için ise 26 °C denge sıcaklığı kullanılmıştır. İki farklı duvar tipi için farklı yalıtım malzemeleri kullanarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6 ile verilmiştir. 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 3'de birinci duvar tipine uygulanacak olan sıkıştırılmış polistiren yalıtım malzemesi kullanarak yalıtım kalınlığı ile maliyet arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4. Güneş Radyasyonlu ($A_s/H_o=0.026 \text{ M}^2\text{°C/W}$) ve Radyasyonsuz Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Yalıtım Kalınlığı-Maliyet İlişkisi

Şekil 4'te görüldüğü gibi yakıt ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyet belirli bir noktaya kadar azalmakta daha sonra artmaktadır. 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. İkinci duvar tipinde genişletilmiş polistiren (EPS) yalıtım malzemesi kullanılarak çeşitli denge sıcaklıklarında hesap edilen güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının değişimi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Güneş Radyasyonlu ve Radyasyonsuz Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Çeşitli Denge Sıcaklıkları ile Optimum Yalıtım Kalınlıkları Arasındaki İlişki

Tablo 5. Sıkıştırılmış Polistiren (XPS) Yalıtım Malzemesi Kullanarak İki Farklı Duvar Tipi İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süreleri

	Duvar tipi 1 ($R_{wt}=0.649 \text{ m}^2\text{K/W}$)					
	Optimum yalıtım kalınlığı, (m)		Enerji tasarrufu, ($\$/\text{m}^2$)		Geri ödeme süresi, (yıl)	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
Radyasyonsuz	0.0419	0.0143	13.93	1.63	3.61	6.21
Radyasyonlu ($0.026 \text{ m}^2\text{°C/W}$)	0.0357	0.0606	10.14	29.14	3.99	2.82
Radyasyonlu ($0.039 \text{ m}^2\text{°C/W}$)	0.0347	0.0791	9.56	49.66	4.06	2.31
Radyasyonlu ($0.052 \text{ m}^2\text{°C/W}$)	0.0340	0.0955	9.20	72.31	4.10	1.99
Duvar tipi 2 ($R_{wt}=0.827 \text{ m}^2\text{K/W}$)						
Optimum yalıtım kalınlığı, (m)		Enerji tasarrufu, ($\$/\text{m}^2$)		Geri ödeme süresi, (yıl)		
Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	
0.0369	0.0093	8.49	0.54	4.5	7.61	
0.0307	0.0556	5.89	19.26	4.95	3.52	
0.0297	0.0741	5.50	34.22	5.03	2.90	
0.0291	0.0905	5.26	50.98	5.09	2.51	

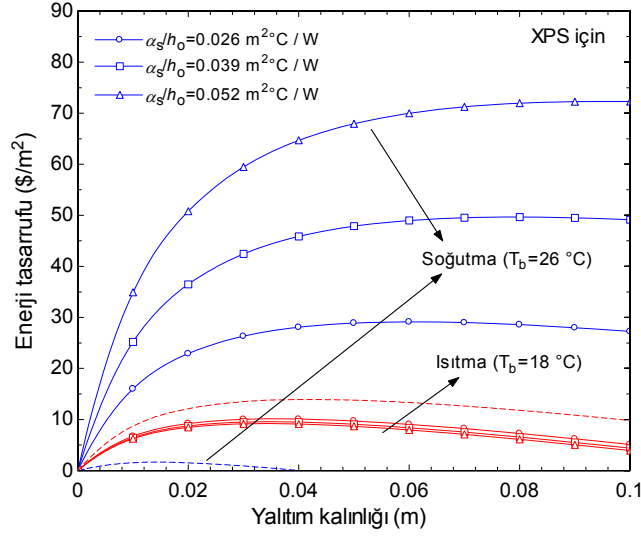
Tablo 6. Genleştirilmiş Polistiren (EPS) Yalıtım Malzemesi Kullanarak İki Farklı Duvar Tipi İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süreleri

	Duvar tipi 1 ($R_{wt}=0.649 \text{ m}^2\text{K/W}$)					
	Optimum yalıtım kalınlığı, (m)		Enerji tasarrufu, ($\$/\text{m}^2$)		Geri ödeme süresi, (yıl)	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
Radyasyonsuz	0.0641	0.0246	15.85	2.335	3.107	5.387
Radyasyonlu ($0.026 \text{ m}^2\text{C/W}$)	0.0553	0.0909	11.78	31.88	3.431	2.414
Radyasyonlu ($0.039 \text{ m}^2\text{C/W}$)	0.0538	0.1175	11.16	53.22	3.492	1.978
Radyasyonlu ($0.052 \text{ m}^2\text{C/W}$)	0.0528	0.141	10.77	76.59	3.532	1.706
Duvar tipi 2 ($R_{wt}=0.827 \text{ m}^2\text{K/W}$)						
Optimum yalıtım kalınlığı, (m)		Enerji tasarrufu, ($\$/\text{m}^2$)		Geri ödeme süresi, (yıl)		
Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	
0.0580	0.0185	10.2	1.042	3.876	6.63	
0.0492	0.0849	7.334	21.8	4.272	3.026	
0.0477	0.1115	6.902	37.58	4.346	2.486	
0.0468	0.135	6.63	55.06	4.395	2.148	

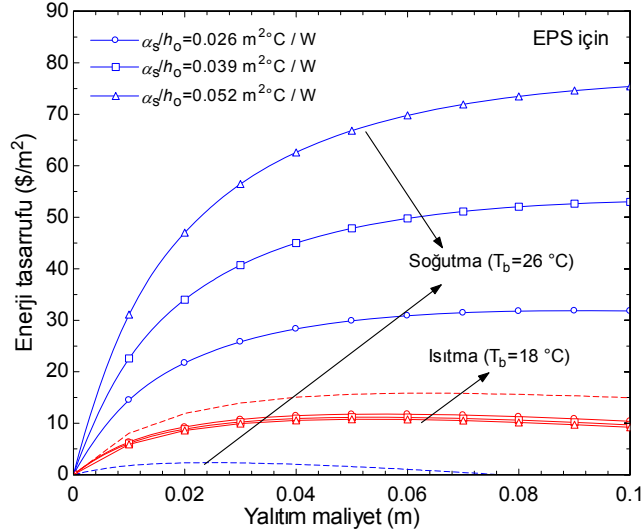
Buna göre soğutma yüklerine göre yapılan hesaplamalarda güneş radyasyonunun etkisi daha fazla görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı radyasyonsuz durumda 0.018 m, güneş radyasyonlu ($\alpha_s/h_o=0.052 \text{ m}^2\text{C/W}$) durumda ise 0.13 m olarak hesap edilmiştir.

İzmir gibi sıcak iklim bölgesinde bulunan illerde soğutma yüküne göre güneşin radyasyon etkisi arttıkça optimum yalıtım kalınlığı değeri de artmaktadır. Ancak ısıtma yüküne göre yapılan hesaplamalarda güneşin radyasyon etkisi hesaba katıldığında optimum yalıtım kalınlığının düştüğü görülmektedir. Radyasyonsuz ısıtma yüküne göre elde edilen optimum yalıtım kalınlığı 0.058 m iken güneşin radyasyon ($\alpha_s/h_o=0.052 \text{ m}^2\text{C/W}$) etkisi hesaba katıldığında bu değer 0.046 m olmaktadır. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerinde radyasyonlu soğutma yüküne göre optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmalıdır.

Ülkemizde yakıt fiyatları oldukça yüksek değerlerdedir. Bu nedenle ısı yalıtımı ile elde edilecek enerji tasarrufları oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan her iki yalıtım malzemesi için birinci duvar tipinde elde edilen enerji tasarrufu yalıtım kalınlığı ilişkisi Şekil 6 ve Şekil 7 ile verilmiştir.



Şekil 6. Sıkıştırılmış Polistiren (XPS) İçin Güneş Radyasyonlu ve Radyasyonsuz Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Enerji Tasarrufu Yalıtım Kalınlığı İlişkisi



Şekil 7. Genleştirilmiş Polistiren (EPS) İçin Güneş Radyasyonlu ve Radyasyonsuz Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Enerji Tasarrufu Yalıtım Kalınlığı İlişkisi

Görüldüğü gibi ısıtma yüküne göre yapılan hesaplarda güneş radyasyonunun hesaba katılmasıyla enerji tasarrufları azalmaktadır. Fakat soğutma yüküne göre hesap yapılır ve güneş radyasyonu da hesaba katılır ise enerji tasarrufunda önemli ölçüde artış gözlenmektedir. Ayrıca enerji tasarrufları optimum yalıtım kalınlıklarına kadar artarken bu değerden sonra azalış göstermektedir. Şekil 6'da radyasyonsuz soğutma yüküne göre 1.63 $\$/m^2$ 'lik bir enerji tasarrufu sağlanırken, radyasyonlu durumda ($\alpha_s/h_o=0.052 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$) bu değer 72.31 $\$/m^2$ olarak hesap edilmiştir. Şekil 7 ile gösterilen grafikte ise radyasyonsuz soğutma yüküne göre 2.33 $\$/m^2$ 'lik bir enerji tasarrufu elde edilirken, radyasyonlu durumda bu değer 76.59 $\$/m^2$ olarak belirlenmiştir.

Radyasyonlu soğutma yüküne ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$) göre sıkıştırılmış polistiren yalıtım malzemesi için 0.06 m'lik optimum yalıtım kalınlığına karşılık 29.14 $\$/m^2$ 'lik bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Genleştirilmiş polistiren için ise radyasyonlu soğutma yüküne ($\alpha_s/h_o=0.026 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$) göre yapılan hesaplamalarda 0.09 m'lik optimum yalıtım kalınlığına karşılık 31.8 $\$/m^2$ 'lik bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Görüldüğü gibi hemen hemen aynı enerji tasarrufunu daha az bir yalıtım kalınlığı ile sıkıştırılmış polistiren malzeme kullanarak sağlamak mümkündür. Bu nedenle dış duvarların ısı

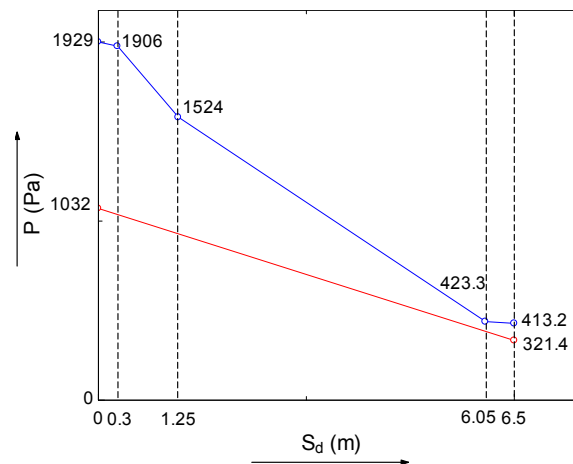
yalıtımı uygulamalarında sıkıştırılmış polistiren malzeme kullanılması, aynı kalınlıkta genişletilmiş polistirene göre daha fazla enerji tasarrufu elde edilir. Aynı zamanda daha az maliyetlidir.

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 kullanarak birinci duvar tipine ait özellikler Tablo 7'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 7. Yoğuşma Kontrolü İçin Gerekli Difüzyon Grafiği Tablosu (Duvar Tipi 1)

No	1	2	3	4	5	6	7	8
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/Λ (m ² K /W)	Sıcaklık T (°C)	Doymuş su buharı basıncı P (Pa)	
						18	2064	
1	İç ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	16.93	1929	
1	İç sıva	0.02	15	0.3	0.87	16.74	1906	
2	Delikli tuğla	0.19	5	0.95	0.45	13.26	1524	
3	Sıkıştırılmış polistiren	0.06	80	4.8	0.028	-4.38	423.3	
4	Dış sıva	0.03	15	0.45	0.87	-4.67	413.2	
	Dış ısı taşınım katsayısı	-	-	-	-	-5	401.8	
			$\Sigma S_d=$	6.5	1/U=	2.791		

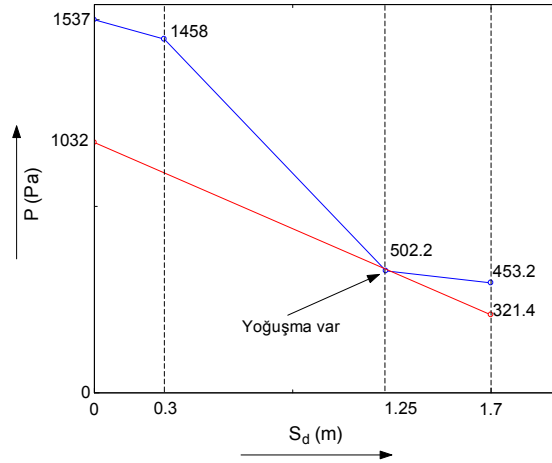
Bu tablo ile verilen değerlere göre difüzyon dengi hava tabakası kalınlığına bağlı olarak elde edilen yoğuşma kontrolü grafiği Şekil 8 ile verilmiştir.



Şekil 8. Yalıtımlı Duvar Tabakası İçin Yoğuşma Periyodu Difüzyon Grafiği (Duvar Tipi 1)

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. İzmir için radyasyonlu soğutma yüküne göre hesap edilen optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak yoğuşma kontrolü yapılmış ve yoğuşmanın olmadığı gözlenmiştir.

İzmir için birinci duvar tipine göre yalıtımsız durumda elde edilen yoğuşma grafiği Şekil 9 ile verilmiştir. Görüldüğü gibi bir bölgede doyma basınç eğrisi kısmi basınç eğrisinin altında kalmıştır. Böyle bir durumda o bölgede yoğuşma meydana gelecektir. Görüldüğü gibi bina dış duvarlarına uyguladığımız yalıtım ile aynı zamanda yoğuşma probleminin de önüne geçmek mümkündür.



Şekil 9. Yalıtımsız Duvar Tabakası İçin Yoğuşma Kontrolü Grafiği (Duvar Tipi 1)

Sonuç olarak sıcak iklim bölgelerindeki binalarda tüketilen enerjinin büyük bir bölümü soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Soğutma sistemleri için harcanan elektrik enerjisi miktarı ısınma amaçlı tüketilen yakıt miktarına oranla daha fazladır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılırken bu bölgelerde güneşin radyasyon etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle hesaplamalarda güneşin radyasyon etkisinin de hesaba katıldığı soğutma yükü esas alınmalıdır. Uygulanan yalıtım işleminin yanı sıra bina dış duvarları için yoğuşma kontrolü de en az yalıtım kadar önemlidir. Çünkü yoğuşma önlemi yapılmayan duvarın yapısı değişen iklim koşullarına bağlı olarak en biriktirmekte ve 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	Geri ödeme süresi [yıl]

P	Basınç
q	Isı kaybı [W/m^2]
$q_{güneş}$	Güneş radyasyonu [W/m^2]
R	Isıl direnç [$m^2°C/W$]
S	Enerji tasarrufu [$$/m^2$]
S_d	Difüzyon dengi hava tabakası kalınlığı (m)
T_b	Denge sıcaklığı [$°C$]
T_o	Saatlik ortalama dış ortam sıcaklığı [$°C$]
T_{sa}	Güneş-hava sıcaklığı [$°C$]
T_{surr}	Hava sıcaklığı [$°C$]
U	Toplam ısı transfer katsayısı [$W/m^2°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

ALTSİMGELER

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] KARAKOÇ, H., "Enerji Ekonomisi", Demirdöküm Teknik Yayınları, 1997.
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, www.enerji.gov.tr, 2009.
- [3] ÖZEL, M., PIHTILI, K., "Determination of Optimum Insulation Thickness By Using Heating and Cooling Degree-Day Values", Journal of Engineering and Natural Sciences, 26, 191-197, 2008.
- [4] 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.
- [5] HASAN, A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost", Applied Energy, 63, 115-124, 1999.
- [6] MOHSEN, M.S., AKASH, B.A., "Some Prospects of Energy Saving in Buildings", Energy Conversion & Management, 42, 1307-1315, 2001.
- [7] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL B., "Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving", Applied Thermal Engineering, 23, 473-479, 2003.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] ASHRAE HANDBOOK, “Fundamentals Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers”, 1993.
- [13] ÇENGEL, Y.A., “Heat Transfer: A Practical Approach 1”, McGraw-Hill, 853, 1998.
- [14] SATMAN, A., YALÇINKAYA, N., “Heating and Cooling Degree-Hours for Turkey”, Energy, 24, 833-840, 1999.
- [15] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., “Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey”, Applied Energy, 69, 269-283, 2001.
- [16] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., “Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri”, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 2007.
- [17] PAPAKOSTAS, K., KYRIAKIS, N., “Heating and Cooling Degree-Hours for Athens and Thessaloniki, Greece”, Renewable Energy, 30, 1873-1880, 2005.
- [18] DAĞSÖZ, A.K., “Konutlarda Ekonomik Isınma El Kitabı”, İzocam Yayınları, 120, 1999.
- [19] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., “Solar Engineering Of Thermal Processes. A Wiley-Interscience Publication, 919s. Wisconsin, 1980.
- [20] KARAKOÇ, T.H., BINYILDIZ, E., TURAN, O., “Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı. ODE Teknik Yayınları, 212, İstanbul, 1999.
- [21] ALTINIŞIK, K., “Isı Yalıtımı”, Nobel Yayın Dağıtım, 954, 276s. Ankara, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

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.

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.