



KONUT TİPİ BİNALARDA SOĞUTMA YÜKÜNÜN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞINA ETKİSİ

Nusret AYDIN* ve Atilla BIYIKOĞLU**

*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Silah Sistemleri Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE
06570 Maltepe, Ankara, nusretayd@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-1280-4631

**Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE
06570 Maltepe, Ankara, abiyik@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2133-6721

(Geliş Tarihi: 22.03.2019, Kabul Tarihi: 10.08.2020)

Özet: Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki konut tipi binalar için soğutma yükü etkisi altında optimum yalıtım kalınlığının (U-değerlerini) ömür maliyet analizi yapılarak belirlenmesi ve elde edilen sonuçlara göre TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında soğutma yükünün de hesaplamalara katılması gereken Derece Gün (DG) bölgelerinin tespit edilmesidir. Alan/Hacim (A/V) oranı $0,40 \text{ m}^{-1}$ olan 5 katlı bir apartman binası referans bina olarak alınmıştır. Binaların yıllık enerji ihtiyaçları, TS EN ISO 13790 standardına göre hesaplanmıştır. Toplam maliyeti temel alan ömür maliyet analizi 30 yıllık bir kullanım ömrü için yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları iklim bölgelerine göre; cephe için 0 cm ile 4 cm, tavan için 0 cm ile 7,5 cm, taban için 0 ile 2,3 cm arasında hesaplanmıştır. Sonuç olarak, TS 825 standardında belirtilen DG1 ve DG2 bölgelerinde soğutma yükünün optimum yalıtım kalınlığı hesaplarına dahil edilmesi gerektiği belirlenmiştir. DG1 ve DG2 bölgelerine göre daha soğuk iklim şartlarının etkili olduğu DG3 ve DG4 bölgelerinde soğutma yükünün optimum yalıtım kalınlığını etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: U-değeri, konut tipi binalar, soğutma, optimum yalıtım kalınlığı.

THE EFFECT OF COOLING LOAD ON OPTIMUM INSULATION THICKNESS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Abstract: The main objective of this study is to determine the optimum insulation thickness of residential buildings in Turkey, under the influence of cooling loads by life cycle cost analysis (LCCA) and to specify the Degree Day (DG) regions that the cooling load should also be included in the calculations in the TS 825 “Heat Insulation Rules in Buildings” standard. A 5-storey apartment building with an Area/Volume ratio (A/V) of $0,40 \text{ m}^{-1}$ is taken as a reference building. The annual energy requirements of the reference building for cooling loads are calculated according to TS EN ISO 13790 standard. Life-cycle cost analysis based on the total cost approach is performed for a period of 30 years. Optimum insulation thicknesses based on climate zones are calculated between 0 cm and 4 cm for wall, 0 cm and 7,5 cm for ceiling, 0 cm and 2,7 cm for floor. As a result, it has been determined that cooling load should be included in the optimum insulation thickness calculations in the DG1 and DG2 regions specified in the TS 825 standard. It is concluded that the cooling loads don’t affect the optimum insulation thickness in DG3 and DG4 regions where the cooler climate is more effective than DG1 and DG2 regions.

Keywords: U-value, residential buildings, cooling, optimum insulation thickness.

SİMGE VE KISALTMALAR

A/V	Isı kaybeden toplam alan/brüt hacim
A_i	i yönündeki toplam pencere alanı [m^2]
A_n	Bina kullanım alanı [m^2]
C	Maliyet [$\$/\text{m}^2$]
C_c	Soğutma için yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_e	Elektrik birim fiyatı [$\$/\text{kWh}$]
C_f	Yakıt birim fiyatı [$\$/\text{m}^3$]
C_h	Isıtma için yalıtımlı bina yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_{ho}	Isıtma için yalıtımsız bina yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_i	Yalıtım malzemesinin birim fiyatı [$\$/\text{m}^3$]
C_{ins}	Yalıtım maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_T	Toplam maliyet [$\$/\text{m}^2$]

C_c	Soğutma için yalıtımlı bina yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_{co}	Soğutma için yalıtımsız bina yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
C_y	Soğutma için 30 yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
$C_{y,h}$	Isıtma için 30 yıllık yakıt maliyeti [$\$/\text{m}^2$]
DG	Derece Gün
EPS	Genişletilmiş Polistiren
F_w	Camlar için düzeltme faktörü
g	Enflasyon oranı
g_{\perp}	Yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü
$g_{i,ay}$	i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
H	Binanın özgül ısı kaybı [W/K]

H_T	İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı [W/K]
H_u	Yakıtın alt ısı değerini
H_V	Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı [W/K]
$I_{i,ay}$	i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti [W/m^2]
i	Faiz oranı
KKO_{ay}	Isıtma hesabı için kazanç/kayıp oranı
$KKO_{c,ay}$	Soğutma için kazanç/kayıp oranı
N	Ömür maliyet süresi [yıl]
n_h	Hava değişim oranı [h^{-1}]
PF	Bugünkü Değer Faktörü
Q_{ay}	Aylık enerji ihtiyacı [kWh/m^2]
$Q_{c,ay}$	Aylık soğutma enerji ihtiyacı [kWh/m^2]
$Q_{c,yıl}$	Yıllık soğutma enerji ihtiyacı [kWh/m^2]
$Q_{h,ay}$	Aylık net ısı ihtiyacı [kWh/m^2]
$Q_{h,yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh/m^2]
$Q_{yıl}$	Yıllık enerji ihtiyacı [kWh/m^2]
R	Toplam ısı geçirgenlik direnci [m^2K/W]
$r_{i,ay}$	i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
t	Zaman (saniye olarak bir ay = 86400×30) [s]
U-değeri	Isıl geçirgenlik katsayısı [W/m^2K]
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi [m^3]
V_h	Havalandırılan hacim [m^3]
x	Yalıtım malzemesi kalınlığı [m]
XPS	Ekstrüde Polistiren
$\eta_{c,ay}$	Soğutma hesabı için kayıpların aylık ortalama kullanım faktörü
$\eta_{h,ay}$	Kazançların aylık ortalama kullanım faktörü
η_k	Isıtma sistemi verimi
θ_e	Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
θ_i	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
λ	Isı iletim katsayısı [W/mK]
$\Phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ısı kazancı [W]
$\Phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı [W]

Alt İndisler

c	soğutma
e	dış
i	iç
f	yakıt
h	ısıtma
ins	yalıtım
opt	optimum

GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusunun artması, sanayileşme ve hızlı kentleşmenin sonucu enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Enerji tüketiminin artması, kısıtlı olan kaynakların azalmasına, çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunların hızla büyümesine neden olmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için fosil yakıtların yerine bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların etkin biçimde kullanılması için çalışmalar yürütülmektedir.

Tüm dünyada toplam enerji tüketiminin yaklaşık 1/3'ü konutlarda kullanılmaktadır (Sağlam vd., 2017). Bu nedenle her alanda olduğu gibi konutlarda harcanan enerjinin azaltılması maksadıyla birtakım politikalar geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Günlük yaşamın gereklerinden ödün vermeden, konutlarda enerji tüketiminin minimuma indirilmesi hem ülke ekonomisine hem de doğanın korunmasına çok büyük katkı sağlayacaktır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından 2018 yılında hazırlanan Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporuna göre Türkiye'de enerjinin yaklaşık %20'si, toplam elektrik tüketiminin ise yaklaşık %22'si konutlarda kullanılmaktadır. Bu tüketilen enerjinin ise %60'ı binalarda ısıtma amacıyla harcanmaktadır (ETKB, 2018). Avrupa Birliği ülkeleriyle karşılaştırıldığı zaman ülkemizdeki konutlarda kullanılan enerji miktarı oldukça yüksektir (European Commission, 2018). Yapılan araştırmalar, doğru bir ısı yalıtımı ile binalarda kullanılan enerji miktarını Avrupa Birliği ülkeleri seviyesine indirmemiz durumunda, ortalama %30-40 oranında enerji tasarrufunun mümkün olduğunu göstermektedir (ÇŞB, 2015).

Avrupa Birliği (AB), tarafından hazırlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) ısıtmanın yanı sıra soğutma yükleri de optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına dahil edilmiştir (European Commission, 2012). Ülkemizde binaların yalıtım kurallarını belirleyen standart TS 825 standardıdır (TS 825, 2008). TS 825 standardında yalıtım kalınlıkları ve limit ısı geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) belirlenirken yalnızca ısıtma yükleri dikkate alınmıştır.

Türkiye'de konutlarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amacıyla kullanılmaktadır (ETKB, 2018). Ancak son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle, soğutma sistemi fiyatları ve kullanım maliyetleri düşmüştür. Bunun sonucu olarak konutlarda soğutma için harcanan enerji miktarı her geçen gün artmaktadır. Geçmişte, soğutma sistemleri genellikle ülkemizin en sıcak bölgesi olan DG1 (Derece Gün) bölgesinde kullanılırken, günümüzde ılıman bir iklimte sahip DG2 ve DG3 bölgelerinde de kullanımı hızla artmaktadır.

Birçok araştırmacı binaların enerji ihtiyacının belirlenmesi ve ısı yalıtımının ısıtma ve/veya soğutma yükü üzerine etkilerini inceleyen araştırmalar yapmıştır. Çomaklı ve Yüksel (2003), Türkiye'nin soğuk iklimte sahip Erzurum, Erzincan ve Kars şehirlerindeki binalarda EPS kullanarak cephe yalıtımı için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. 10 yıllık bir kullanım ömrü için, yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanıldığında, ısıtma yükü etkisi altında cephe için optimum yalıtım kalınlıklarını Erzurum için 0,10 m, Kars için 0,10 m ve Erzincan için 0,08 m olarak belirlemişlerdir. Özel (2008), Elazığ ili için ısıtma yükü etkisi altında optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu

ve geri ödeme sürelerini üç farklı yakıt türü için hesaplamıştır. Hesaplamaları sonucunda; doğalgaz, ithal kömür ve fueloil için optimum cephe yalıtım kalınlıklarını sırasıyla 0,04, 0,045 ve 0,075 m olarak hesaplamıştır. Kaynaklı (2013), yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığı hesabı için derece-gün metodu ile birlikte ömür maliyet analizini kullanmıştır. Türkiye’deki konut tipi binalar için yaptığı çalışmasında, hesapladığı optimum yalıtım kalınlığıyla cephe yalıtılması durumunda 20 yıllık bir zaman zarfında iklim bölgelerine göre %76-88 arasında değişen oranda enerji tasarrufu elde edilebileceğini belirlemiştir. Geri ödeme sürelerinin, iklime ve kullanılan yalıtım malzemesine göre 3,85-16,25 yıl arasında değiştiğini raporlamıştır. Kürekçi (2016) çalışmasında, Türkiye’nin 81 il merkezi için dört farklı yakıt (doğalgaz, kömür, fueloil ve LPG) ve beş farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Bu hesaplamalarını sadece ısıtma yükü, sadece soğutma yükü ve ısıtma ile soğutma yükünün birlikte olduğu durumlar için 10 yıllık bir optimizasyon süresi için yapmıştır. Sağlam vd. (2017), yaptıkları çalışmada binaların enerji ihtiyacını, dinamik bir hesap metodu kullanarak hesaplamışlardır. 30 yıllık bir kullanım ömrü için yaptıkları hesaplamalar sonucunda, yüksek katlı apartmanlarda optimum yalıtım kalınlığıyla yalıtım yapılması durumunda %70 varan enerji tasarrufu elde edilebileceğini ve bu oranın bina sakinlerinin havalandırma ve pencere açma gibi davranışlarına bağlı olarak %80’e kadar çıkabileceğini raporlanmışlardır. Özel ve Tunç (2018), çalışmalarında, Kars şehri için optimum yalıtım kalınlıklarını derece-gün metodu kullanarak güneş ışımasını dikkate alarak ve almadan belirlemişlerdir. 10 yıllık bir kullanım ömrü için cephe için optimum yalıtım kalınlığını güneş ışımasını dikkate alarak 8 cm ve dikkate almadan 9 cm olarak hesaplamışlardır.

Mevcut literatür incelendiğinde, Türkiye için yapılan çalışmalarda genellikle Derece Gün Metodu kullanıldığı, hesaplamalarda ısıtma yükü veya ısıtma+soğutma yükünün birlikte dikkate alındığı, ömür maliyet analizinin 10 yıllık bir zaman dilimi için yapıldığı ve sadece cephe için optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplandığı görülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’deki binalar için minimum enerji performans gerekliliklerinin optimum maliyet seviyelerinin hesaplanması için EPBD’ye dayanan bir yöntem kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları belirlenirken sadece soğutma yükü dikkate alınmıştır. Referans binaların soğutma yükü için yıllık enerji ihtiyacı, TS EN ISO 13790 standardına göre hesaplanmıştır (TS EN ISO 13790, 2013). Türkiye’de dört bölgede soğutma için optimum U-değerleri, optimum yalıtım kalınlıkları, yıllık enerji ihtiyacı, 30 yıllık yakıt maliyeti ve 30 yıllık yakıt tasarrufu konut tipi binalar için 30 yıllık bir süre dikkate alınarak hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları; cephe, tavan ve taban için ayrı ayrı hesaplanmıştır. TS 825 standardında sadece ısıtma için belirtilen limit U-değerleri, soğutma yükü için optimum maliyet

yaklaşımına göre hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Soğutma yükünün, optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına dahil edilmesi gereken DG bölgeleri belirlenmiştir.

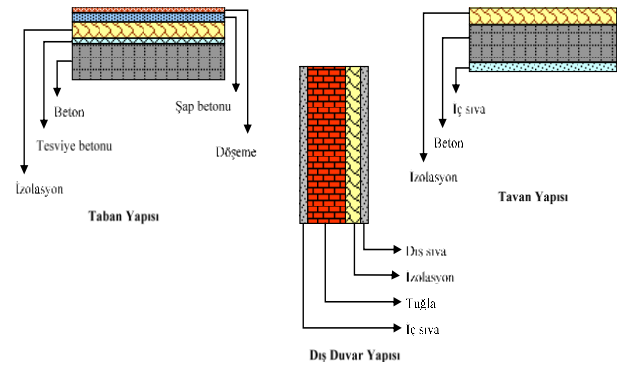
MATERYAL VE METOD

Hesaplamalar için Excel programında bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım kullanılarak farklı yalıtım kalınlıklarına karşı gelen, yıllık enerji ihtiyaçları ve yalıtım maliyetleri hesaplanmıştır. 30 yıllık bir süre için ömür maliyet analizi yapılarak, yalıtım maliyeti ve yakıt maliyetinden oluşan toplam maliyetin minimum olduğu optimum yalıtım kalınlıkları ve optimum U-değerleri belirlenmiştir. Hesaplamalar çatı, döşeme ve cephe için ayrı ayrı yapılmıştır. Hesaplamalar her bir DG bölgesi için tekrarlanmıştır.

Bina ve Bina Zarfının Özellikleri

Binalarda ısı kayıp ve kazançları genellikle cephe, tavan, taban, pencere ve havalandırma yoluyla gerçekleşir. Bu çalışmada, bina zarfı ve havalandırma yoluyla oluşan ısı kayıp ve kazançları dikkate alınarak binanın yıllık soğutma ihtiyacı belirlenmiştir. Hesaplamalar, aynı referans bina için dört farklı DG bölgesinde yapılmıştır.

Cephe, tavan ve taban yüzeylerini oluşturan zarf bileşenleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Bina yalıtımında, kullanım alanına (cephe, tavan, taban) göre en yüksek pazar payına sahip yalıtım malzemesi tercih edilmiştir. Çatı yalıtımında, %70 pazar payına sahip cam yünü, döşeme yalıtımında %85 pazar payına sahip XPS ve cephe yalıtımında %80 pazar payına sahip EPS yalıtım malzemesi olarak belirlenmiştir (IZODER, 2018). Cephe, tavan ve taban bileşenlerinin fiziksel özellikleri ile ısı direnç değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de sunulan ısı iletim katsayıları ve ısı direnç değerleri TS 825 standardından alınmıştır (TS 825, 2008).



Şekil 1. Bina zarfının yapısı.

Bu çalışmada Türkiye’de bina stokunun genelini yansıttığı düşünülerek 5 katlı bir apartman binası referans bina olarak oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan referans binanın fiziksel özellikleri ile pencere tipi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri.

Dış Duvar Yapısı	Kalınlık (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
İç Sıva	0,02	0,7	0,029
Tuğla	0,19	0,45	0,422
Geniştirilmiş Polistiren (EPS)	<i>x</i>	0,035	<i>x</i> /0,035
Dış Sıva	0,008	0,38	0,021
R _i			0,13
R _e			0,04
Tavan Yapısı	Kalınlık (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
İç Sıva	0,02	0,7	0,029
Beton	0,12	2,5	0,048
Cam yünü	<i>x</i>	0,045	<i>x</i> /0,045
R _i			0,13
R _e			0,04
Taban Yapısı	Kalınlık (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Beton	0,12	2,5	0,048
Tesviye Betonu	0,02	1,4	0,014
Ekstrude Polistiren (XPS)	<i>x</i>	0,035	<i>x</i> /0,035
Şap Betonu	0,03	1,4	0,021
Döşeme	0,005	0,23	0,022
R _i			0,17
R _e			0

Tablo 2. Referans binanın fiziksel özellikleri.

Bina Özellikleri	Değer
Isı kaybeden toplam alan/Bina brüt hacmi (A/V)	0,40
Bina kullanım amacı	Konut
Bina kat adedi	5
Bina eni (m)	24
Bina boyu (m)	12
Kat yüksekliği (m)	2,70
Pencereler 12 mm aralıklı çift camlı PVC	PVC
Pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)	2,4
Havalandırma	Doğal
Taban alanı, A _t (m ²)	288
Tavan alanı, A _T (m ²)	288
Güney yönündeki toplam pencere alanı, A _{P,g} (m ²)	54
Doğu yönündeki toplam pencere alanı, A _{P,d} (m ²)	54
Batı yönündeki toplam pencere alanı, A _{P,b} (m ²)	27
Kuzey yönündeki toplam pencere alanı, A _{P,k} (m ²)	27
Toplam pencere alanı, A _P (m ²)	162
Dış havaya açık toplam cephe alanı, A _D (m ²)	590
Dış havaya açık taşıyıcı betonarme alanı, A _B (m ²)	220
Toplam cephe alanı, A _C (m ²)	810
Isı kaybeden toplam yüzey alanı, A _{top} (m ²)	1548
Binanın brüt hacmi, V _{brüt} (m ³)	3888
Bina kullanım alanı, A _n (0.32xV _{brüt}) (m ²)	1244

Yıllık Soğutma Enerjisi İhtiyacının Hesabı

Bu çalışmada, binanın soğutma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında, TS EN ISO 13790 standardında yer alan hesap metodolojisi kullanılmıştır. TS EN ISO 13790 standardında tanımlanan hesap metoduna göre, bir yapının yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı (Q_{c,yıl}), aylık net soğutma ihtiyaçlarının toplanmasıyla bulunur.

$$Q_{c,yıl} = \sum Q_{c,ay} \quad (1)$$

Aylık net soğutma ihtiyacı (Q_{c,ay}), iç ortamda belli bir konfor sıcaklığını sağlamak için gereken enerji olup, aylık iç ve güneş enerji kazançları toplamından, ortamın aylık toplam ısı kayıplarının çıkartılmasıyla aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$Q_{c,ay} = [(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) - \eta_{c,ay}H(\theta_i - \theta_e)] \times t \quad (2)$$

Bu eşitlikte; aylık soğutma enerji ihtiyacı, Q_{c,ay} (kWh), binanın özgül ısı kaybı, H (W/K), aylık ortalama iç sıcaklık, θ_i (°C), aylık ortalama dış sıcaklık, θ_e (°C), kayıpların aylık ortalama kullanım faktörü, $\eta_{c,ay}$, aylık ortalama iç kazançlar, $\Phi_{i,ay}$ (W), aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, $\Phi_{s,ay}$ (W), soğutma süresi, *t* (s) (saniye olarak bir ay = 86400x30) olarak ifade edilmiştir. Binanın özgül ısı kaybı, H (W/K), aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$H = H_T + H_V \quad (3)$$

Bu eşitlikte; iletim ve taşınım ile olan ısı kaybı H_T (W/K), havalandırma yoluyla olan ısı kaybı H_V (W/K) olarak ifade edilir. İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (4)$$

İletimle ve taşınım ile olan ısı kaybı hesaplamalarında ısı köprülerinden meydana gelen ısı kayıpları, IU_I ihmal edilmiştir.

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_t A_t \quad (5)$$

Bu eşitlikte; cephe ısı transfer katsayısı U_D (W/m²K), pencerelerin ısı transfer katsayısı U_P (W/m²K), tavanın ısı transfer katsayısı U_T (W/m²K), tabanın ısı transfer katsayısı U_t (W/m²K), cephe alanı A_D (m²), pencerelerin alanı A_P (m²), tavan alanı A_T (m²), taban alanı A_t (m²) olarak ifade edilir. Havalandırma yoluyla ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$H_V = 0,33 \times n_h \times (0,8 \times V_{brüt}) \quad (6)$$

Bu eşitlikte; hava değişim oranı n_h (h⁻¹), binanın soğutulan brüt hacmi V_{brüt} (m³) olarak ifade edilir. Aylık soğutma kayıp kullanım faktörü, $\eta_{c,ay}$ aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır;

$$\eta_{c,ay} = (1 - e^{\left(\frac{-1}{KKO_{c,ay}}\right)}) \times KKO_{c,ay} \quad (7)$$

Burada, $KKO_{c,ay}$ soğutma için kazanç/kayıp oranıdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$KKO_{c,ay} = \frac{(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})}{H(\theta_i - \theta_e)} \quad (8)$$

$KKO_{c,ay}$ oranının 2,5 ve altında olduğu durumlarda, o ay için soğutma enerji ihtiyacı olmadığı kabul edilmiştir. Bu çalışmada konut tipi bina için hesaplamalar yapıldığından; ortalama iç ortam sıcaklığı $\theta_i=22^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır (TS EN ISO 13790, 2013). Ortalama aylık dış ortam sıcaklıkları DG bölgelerine göre TS 825 standardından alınmıştır. Hesaplama yönteminde kullanılan kabuller aşağıda özetlenmiştir;

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında, hava değişim sayısı, $n_h=0,8$ (h^{-1}) olarak alınmıştır. Binanın aylık ortalama iç kazancı, $\Phi_{i,ay}=5$ W/m^2 olarak alınmıştır. Binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazanç hesabında, saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$), 0,8 olarak alınmıştır. Ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti ($I_{i,ay}$), tüm bölgeler için bina yönlerine göre sabit kabul edilerek TS 825 standardından alınmıştır. Camlar için düzeltme faktörü, $F_w=0,80$ ve laboratuvar şartlarında ölçülen cam yüzeyine dik olarak gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü, $g_{\perp}=0,75$ olarak alınmıştır.

Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesabı

Bu çalışmada, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında, TS 825 standardında yer alan hesap metodolojisi kullanılmıştır. TS 825 standardında tanımlanan hesap metoduna göre, bir yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{h,yıl}$), aylık net ısı ihtiyaçlarının toplanmasıyla bulunur.

$$Q_{h,yıl} = \sum Q_{h,ay} \quad (9)$$

Aylık net ısı ihtiyacı ($Q_{h,ay}$), iç ortamda belli bir konfor sıcaklığını sağlamak için gereken ısı enerjisi olup binanın aylık toplam ısı kayıplarından, aylık iç ve güneş enerji kazançları toplamını çıkartmak suretiyle hesaplanır. Aylık ısıtma enerjisi gereksinimi ($Q_{h,ay}$) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$Q_{h,ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{h,ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \times t \quad (10)$$

Bu eşitlikte; aylık ısıtma enerji ihtiyacı, $Q_{h,ay}$ (kWh), binanın özgül ısı kaybı, H (W/K), aylık ortalama iç sıcaklık θ_i ($^\circ\text{C}$), aylık ortalama dış sıcaklık θ_e ($^\circ\text{C}$), kazançların aylık ortalama kullanım faktörü $\eta_{h,ay}$, aylık ortalama iç kazançlar $\Phi_{i,ay}$ (W), aylık ortalama güneş enerjisi kazancı $\Phi_{s,ay}$ (W), zaman t (s) (saniye olarak bir ay = 86400×30) olarak ifade edilmiştir. Binanın özgül ısı kaybı, H (W/K), aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$H = H_T + H_V \quad (11)$$

Bu eşitlikte; iletim ve taşınım ile olan ısı kaybı H_T (W/K), havalandırma yoluyla olan ısı kaybı H_V (W/K) olarak

ifade edilir. İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (12)$$

İletimle olan ısı kaybı hesaplamalarında ısı köprülerinden meydana gelen ısı kayıpları, IU_I ihmal edilmiştir.

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_l A_l \quad (13)$$

Bu eşitlikte; cephe ısı transfer katsayısı U_D (W/m²K), pencerelerin ısı transfer katsayısı U_P (W/m²K), tavanın ısı transfer katsayısı U_T (W/m²K), tabanın ısı transfer katsayısı U_l (W/m²K), cephe alanı A_D (m²), pencerelerin alanı A_P (m²), Tavan alanı A_T (m²), taban alanı A_l (m²) olarak ifade edilir. Havalandırma yoluyla ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$H_V = 0,33 \times n_h \times (0,8 \times V_{brüt}) \quad (14)$$

Bu eşitlikte; hava değişim oranı n_h (h^{-1}), binanın ısıtılan brüt hacmi $V_{brüt}$ (m³) olarak ifade edilir.

Eş. (10)'da, aylık ısıtma enerji ihtiyacının negatif (-) olduğu aylarda enerji ihtiyacı sıfır (0) olarak kabul edilir ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacının hesaplanmasında dikkate alınmaz. Eş.(10)'da yer alan aylık kazanç kullanım faktörü aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\eta_{h,ay} = 1 - e^{\left(\frac{-1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (15)$$

Burada, KKO_{ay} kazanç/kayıp oranıdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$KKO_{ay} = \frac{(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})}{H(\theta_i - \theta_e)} \quad (16)$$

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğu durumlarda o ay için ısıtma enerjisi ihtiyacı olmadığı kabul edilmiştir.

Bu çalışmada konut tipi bina için hesaplamalar yapıldığından; ortalama iç ortam sıcaklığı $\theta_i=19^\circ\text{C}$ alınmıştır. (TS 825, 2008). Ortalama aylık dış ortam sıcaklıkları DG bölgelerine göre TS 825 standardından alınmıştır. Hesaplama yönteminde kullanılan kabuller aşağıda özetlenmiştir;

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında, hava değişim sayısı, $n_h=0,8$ (h^{-1}) olarak alınmıştır. Binanın aylık ortalama iç kazancı, $\Phi_{i,ay}=5$ W/m^2 olarak alınmıştır. Binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazanç hesabında, saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$), 0,8 olarak alınmıştır. Ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti ($I_{i,ay}$), tüm bölgeler için bina yönlerine göre sabit kabul edilerek TS 825 standardından alınmıştır (TS 825, 2008). Camlar için düzeltme faktörü, $F_w=0,80$ ve laboratuvar şartlarında ölçülen cam yüzeyine dik olarak gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü, $g_{\perp}=0,75$ olarak alınmıştır.

Yıllık Yakıt Maliyeti, Yıllık Yakıt Tasarrufu ve Yalıtım Maliyeti Hesabı

Soğutma için yıllık yakıt maliyeti C_c aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$C_c = \frac{Q_{c,yıl}}{COP} \times C_e \quad (17)$$

C_e elektrik birim fiyatı (\$/kWh) (TUİK, 2017), ve Soğutma sisteminin performans katsayısı (COP) değeri (Mangan ve Oral, 2016 ve SGM/2013-11) Tablo 3’de verilmiştir. Isıtma için yıllık yakıt maliyeti C_h aşağıdaki denklemle hesaplanır;

$$C_h = \frac{Q_{h,yıl}}{H_u \times \eta_k} \times C_f \quad (18)$$

C_f yakıt birim fiyatı (\$/m³), H_u (kWh/m³) kullanılan yakıtın alt ısı değer ve η_k ısıtma sisteminin verimidir. Bu hesaplamalarda kullanılan yakıtın birim fiyatı (BOTAŞ, 2018) ve alt ısı değeri (BOTAŞ, 2018) Tablo 3’de verilmiştir.

Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında ömür maliyet analizi yöntemi kullanılmıştır. N yıllık bir zaman dilimi boyunca toplam ısıtma maliyeti, bugünkü değer faktörü (PWF) kullanılarak hesaplanmıştır (Özel, 2008). PWF, enflasyon ve faiz oranlarına göre Eş.(19) ve Eş.(20) ile hesaplanır;

$$r = \begin{cases} \frac{(i-g)}{(1+g)}, & \text{eğer } i > g \\ \frac{(g-i)}{(1+i)}, & \text{eğer } g > i \end{cases} \quad (19)$$

$$PWF = \begin{cases} \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N}, & i \neq g \\ \frac{N}{(1+i)}, & i = g \end{cases} \quad (20)$$

Burada; PWF bugünkü değer faktörü, i faiz oranı (TCMB, 2018), g enflasyon oranı (TUİK, 2018), r gerçek faiz oranı ve N (yıl) ömür maliyet süresidir. PWF hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 3’de verilmiştir.

Bu çalışmada, üç farklı yalıtım malzemesi kullanılarak bina zarfının optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yalıtım malzemelerinin fiyatları Tablo 3’te verilmiştir. Yalıtım maliyetinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$C_{ins} = C_i \times x \quad (21)$$

Burada; C_i , yalıtım malzemesinin (\$/m³) birim fiyatı (IZODER, 2018) ve x ise m cinsinden yalıtım

malzemesinin kalınlığıdır. Yakıt maliyeti ve yalıtım maliyetinden oluşan toplam maliyet C_T (\$/m²), soğutma için aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$C_T = C_c \times PWF + C_{ins} \quad (22)$$

Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan parametreler.

Parametre	Değer	Birim
Elektrik		
Alt ısı değer (H_u)	1	kWh/kWh
Birim fiyat (C_f) (TUİK, 2018)	0,109	\$/kWh
COP (Mangan ve Oral, 2016)	4,5	
Yakıt		
Doğal gaz		
Alt ısı değer (H_u) (BOTAŞ, 2018)	9,595	kWh/m ³
Birim fiyat (C_f) (BOTAŞ, 2018)	0,325	\$/m ³
Isıtma sistemi verimi (η_s)	%98	
Yalıtım Malzemesi		
Cam yünü (λ) (IZODER, 2018)	0,045	W/mK
XPS (λ) (IZODER, 2018)	0,035	W/mK
EPS (λ) (IZODER, 2018)	0,035	W/mK
Cam yünü birim fiyatı (IZODER, 2018)	32	\$/m ³
XPS birim fiyatı (IZODER, 2018)	120	\$/m ³
EPS birim fiyatı (IZODER, 2018)	210	\$/m ³
PWF		
Faiz oranı (i) (TCMB, 2018)	%12,75	
Enflasyon oranı (g) (TUİK, 2018)	%10,35	
Ömür Süresi (N) (EC, 2018)	30	yıl
Pencere (TS 825, 2008)		
U_p	2,4	W/m ² K
F_w	0,8	
g_{\perp}	0,75	
$r_{i,ay}$	0,8	
Aylık ortalama iç kazançlar		
$\Phi_{i,ay}$ (TS 825, 2008)	5	W
Hava değişim sayısı		
n_h (TS 825, 2008)	0,8	h ⁻¹
İç Ortam Sıcaklığı		
Soğutma için θ_i (TS EN ISO 13790, 2013)	19	°C
Isıtma için θ_i (TS 825, 2008)	22	°C
Döviz kuru		
\$/TL (TCMB, 2018)	3,75	

Burada; yıllık soğutma maliyeti C_c , bugünkü değer faktörü PWF, yalıtım maliyeti C_{ins} ile ifade edilmiştir. Yıllık yakıt tasarrufu (YYT), yalıtımsız binanın yıllık yakıt maliyetinden C_{co} (\$/m²) yalıtımlı binanın yıllık yakıt maliyetinin C_c (\$/m²) çıkartılmasıyla aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$YYT = C_{co} - C_c \quad (23)$$

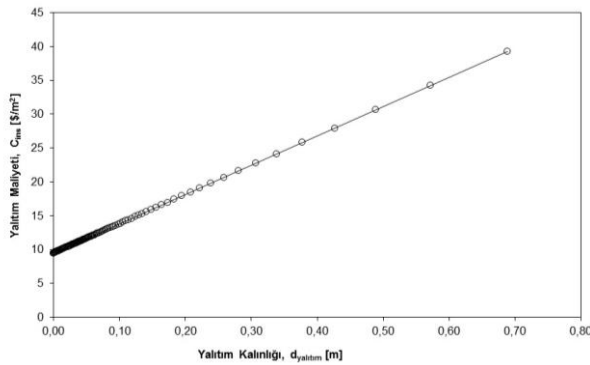
BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Konut tipi binalarda enerji tasarrufu için uygulanacak en etkili yöntemlerden biri ısı yalıtımıdır. Bu nedenle, yalıtım kalınlığının belirlenmesi enerji verimliliği için çok önemlidir. Bu çalışmada tavan, taban ve cephe için

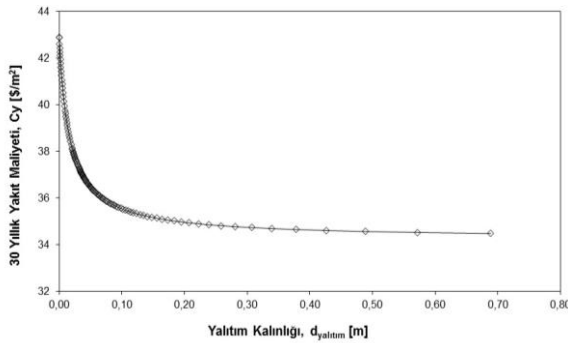
optimum yalıtım kalınlıkları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tavan yalıtımı için Cam Yünü, taban yalıtımı için XPS ve cephe yalıtımı için EPS kullanılmıştır. Türkiye’deki dört farklı DG bölgesi için yapılan hesaplamada soğutma için enerji olarak elektrik kullanılmıştır.

Bu çalışmada ömür maliyet analizi 30 yıllık bir kullanım ömrü için yapılmıştır. Ömür maliyet analizinde, yalıtım için yapılan maliyet (C_{ins}) ilk yatırım maliyetidir. Kullanım maliyeti ise 30 yıllık süre boyunca binayı soğutmak için kullanılan yakıt maliyeti, C_y ($\$/m^2$)’dir. Toplam maliyet ise yalıtım maliyeti ve 30 yıllık enerji maliyetinin toplamıdır. Yalıtımsız binalar için ilk yatırım maliyeti yoktur. Yalıtımsız binalarda sadece soğutma için kullanılan 30 yıllık enerji maliyeti, toplam maliyeti temsil etmektedir.

Binalarda yalıtım kalınlığı, bina kabuğunun tasarımında önemli bir parametredir. Düşük yalıtım kalınlığı, ısının daha hızlı aktarılmasına sebep olarak ısı konfor ve enerji tüketimi üzerinde olumsuz bir etki oluşturur. Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı ve yakıt maliyeti azalır. Bununla birlikte yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetinin artmasına neden olur. Şekil 2’de görüldüğü gibi, yalıtım kalınlığının artmasıyla, yalıtım maliyeti artmaktadır. Bununla birlikte yalıtım kalınlığının artmasıyla, 30 yıllık yakıt maliyeti Şekil 3’de görüldüğü gibi azalmaktadır.



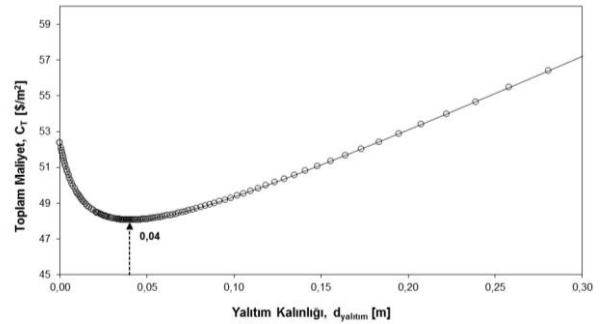
Şekil 2. Yalıtım kalınlığının yalıtım maliyeti üzerine etkisi.



Şekil 3. Yalıtım kalınlığının 30 yıllık yakıt maliyeti üzerine etkisi.

Hesaplamalarda öncelikle, farklı yalıtım kalınlıklarına karşılık gelen yıllık enerji ihtiyacı ve yalıtım maliyetleri belirlenmiştir. Daha sonra yalıtım maliyeti ve 30 yıllık yakıt maliyetinden oluşan toplam maliyetler

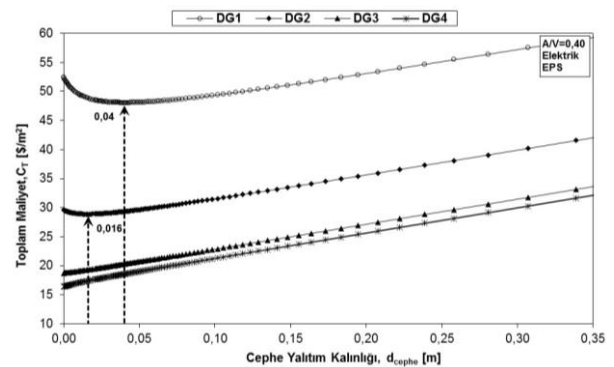
hesaplanmıştır. Farklı yalıtım kalınlıklarına karşılık gelen toplam maliyet; yalıtım kalınlığının artmasıyla belirli bir noktaya kadar azalmakta daha sonra Şekil 4’de görüldüğü gibi tekrar artmaya başlamaktadır. Toplam maliyetin minimum olduğu bu noktaya karşılık gelen yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığı olarak ifade edilmektedir. Optimum yalıtım kalınlıklarına karşılık gelen optimum ısı geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) hesaplanarak her bir DG bölgesinde cephe, tavan ve taban için optimum U-değerleri belirlenmiştir.



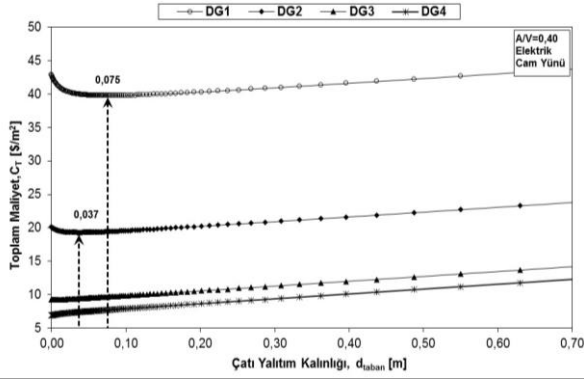
Şekil 4. Yalıtım kalınlığının 30 yıllık toplam maliyet üzerine etkisi.

A/V oranı $0,40 m^{-1}$ olan referans binada soğutma için elektrik kullanılması durumunda dört farklı DG bölgesinde cephe, tavan ve taban için belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 5-7’de gösterilmiştir. Cephe yalıtımı için ısı iletim katsayısı (λ) $0,035 W/mK$ olan EPS, tavan yalıtımı için ısı iletim katsayısı (λ) $0,045 W/mK$ olan Cam Yünü ve taban yalıtımı için ısı iletim katsayısı (λ) $0,035 W/mK$ olan XPS kullanılmıştır.

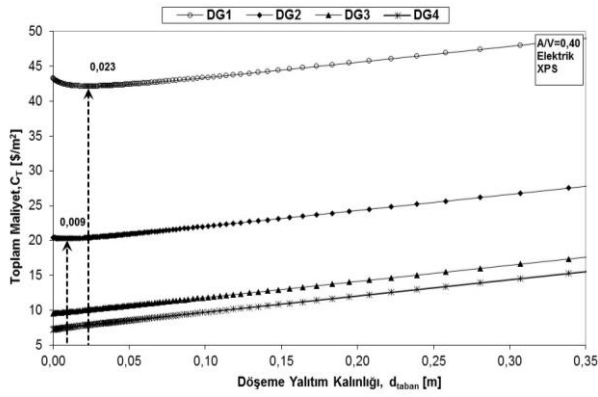
Şekil 5-7’de görüldüğü üzere her bir DG bölgesinde ve her bir bina zarfı için farklı optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Optimum cephe yalıtım kalınlıkları DG1, DG2 bölgelerinde sırasıyla $0,040 m$, $0,016 m$ olarak belirlenirken optimum çatı yalıtım kalınlıkları DG1, DG2 bölgelerinde sırasıyla $0,075 m$, $0,037 m$ ve optimum döşeme yalıtım kalınlıkları DG1, DG2 bölgelerinde sırasıyla $0,023 m$, $0,009 m$, olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. DG bölgelerine göre optimum cephe yalıtım kalınlıkları.



Şekil 6. DG bölgelerine göre optimum çatı yalıtım kalınlıkları.



Şekil 7. DG bölgelerine göre optimum döşeme yalıtım kalınlıkları.

Soğutma yükü etkisi altında DG3 ve DG4 bölgelerinde cephe, tavan ve taban için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanamamıştır. Bunun nedeni; DG3 ve DG4 bölgelerinin soğuk iklim kuşağında bulunması ve soğutma için harcanan enerjinin çok küçük olmasıdır. Optimum yalıtım kalınlıklarına karşılık gelen U-değerleri ise DG1, DG2 bölgelerinde cephe için sırasıyla 0,68 W/m²K, 1,30 W/m²K; tavan için sırasıyla 0,51 W/m²K, 0,90 W/m²K; taban için sırasıyla 1,02 W/m²K, 1,78 W/m²K olarak belirlenmiştir.

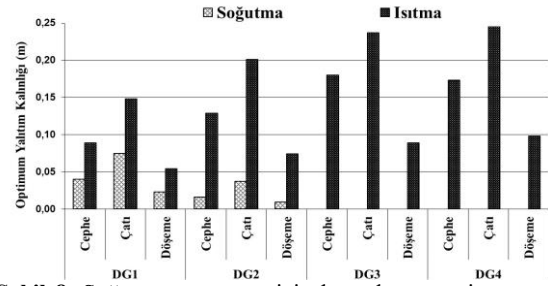
Şekil 5-7'de görüldüğü üzere sıcak iklim bölgesine sahip DG1 bölgesinden daha soğuk bir iklime sahip DG4 bölgesine gidildikçe toplam maliyet (C_T) ve optimum yalıtım kalınlıkları azalmaktadır. Daha sıcak bir iklime sahip DG1 bölgesinde soğutma için harcanan enerjinin daha fazla olması optimum yalıtım kalınlıklarını artırmaktadır. Optimum yalıtım kalınlıkları ve optimum yalıtım kalınlıklarına karşılık gelen optimum ısıl geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) farklı bölgeler için Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. DG Bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları ve U-değerleri.

DG	Cephe için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _D (W/m ² K)	Tavan için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _T (W/m ² K)	Taban için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _t (W/m ² K)
DG1	0,040	0,68	0,075	0,51	0,023	1,02
DG2	0,016	1,30	0,037	0,90	0,009	1,78
DG3	-	-	-	-	-	-
DG4	-	-	-	-	-	-

DG1 bölgesindeki soğutma etkisi altında tavan için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı 7,5 cm iken bu değer DG2 bölgesinde 3,7 cm'dir. Daha sıcak iklim bölgesine sahip DG1 bölgesinden daha ılıman iklime sahip DG2 bölgesine gidildikçe optimum yalıtım kalınlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Daha soğuk iklime sahip DG3 ve DG4 bölgelerinde ise soğutma için optimum yalıtım kalınlığı belirlenememiştir.

Soğutma için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve karşılık gelen U-değerleri ısıtma için hesaplanan değerler ile Tablo 5 ve Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. DG1 bölgesinde soğutma etkisi altında cephe, tavan ve taban için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, ısıtma için hesaplanan değerlerinin sırasıyla %45, %50 ve %43'ü kadardır. DG2 bölgesinde ise soğutma için hesaplanan değerler ısıtma değerlerinin cephe, tavan ve taban için sırasıyla %12, %18 ve %12'sine karşılık gelmektedir. DG1 ve DG2 bölgeleri arasındaki bu farkın nedeni DG1 bölgesinden DG4 bölgesine gidildikçe ısıtma için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığının artması, soğutma yükü için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığının azalmasıdır. Enerji ihtiyacının artması optimum yalıtım kalınlıklarını artırmaktadır.



Şekil 8. Soğutma ve ısıtma için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması

Soğutma için optimum yalıtım kalınlığına karşılık gelen yıllık enerji ihtiyacı, yıllık yakıt maliyeti, 30 yıllık yakıt maliyeti ve 30 yıllık yakıt tasarrufu ısıtma için hesaplanan değerler ile Tablo 6'da karşılaştırılmıştır. Tablo 6'da görüldüğü üzere, DG1 bölgesinde soğutma için gereken yıllık enerji ihtiyacı 13,18 kWh/m² iken bu değer ısıtma için 19,24 kWh/m²'dir. DG1 bölgesinde ısıtma için harcanan enerji soğutma için harcanan enerjinin 1,46 katı iken bu oran DG1 bölgesinden daha soğuk bir iklime sahip DG4 bölgesine gittikçe artmaktadır. DG4 bölgesinde ısıtma için harcanan enerji soğutma için harcanan enerjinin yaklaşık 30,4 katıdır.

Tablo 5. Soğutma ve ısıtma için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının ve U-değerlerinin karşılaştırılması.

DG	Yalıtım	Cephe için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _D (W/m ² K)	Tavan için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _T (W/m ² K)	Taban için optimum yalıtım kalınlığı (m)	U _t (W/m ² K)
DG1	Soğutma	0,040	0,68	0,075	0,51	0,023	1,02
	Isıtma	0,089	0,35	0,148	0,28	0,054	0,54
DG2	Soğutma	0,016	1,30	0,037	0,90	0,009	1,78
	Isıtma	0,129	0,25	0,201	0,21	0,074	0,41
DG3	Soğutma	-	-	-	-	-	-
	Isıtma	0,148	0,22	0,237	0,18	0,089	0,35
DG4	Soğutma	-	-	-	-	-	-
	Isıtma	0,173	0,19	0,268	0,16	0,098	0,32

DG1 bölgesinden DG4 bölgesine gidildikçe soğutma için harcanan enerji azalmakta buna karşılık ısıtma için harcanan enerji artmaktadır. DG1 bölgesinde soğutma için gereken yıllık enerji ihtiyacı (13,81 kWh/m²) ısıtma için gereken enerji ihtiyacından (19,24 kWh/m²) küçük olsa bile 30 yıllık yakıt maliyeti karşılaştırıldığında soğutma maliyeti (32,35 \$/m²) ısıtma maliyetinden (14,65 \$/m²) daha büyüktür. Bunun nedeni soğutma için kullanılan elektriğin doğalgazdan daha pahalı olmasıdır.

DG1 bölgesinde soğutma için yalıtımsız binanın 30 yıllık yakıt maliyeti 43,72 \$/m² iken ısıtmada bu değer 58,13 \$/m²'dir. Yalıtımsız binanın 30 yıllık yakıt maliyetinden yalıtımlı binanın 30 yıllık yakıt maliyetinin çıkartılmasıyla hesaplanan 30 yıllık yakıt tasarrufları karşılaştırıldığında; DG1 bölgesinde soğutma için 11,37 \$/m² yakıt tasarrufu elde edilirken ısıtma için 43,48 \$/m² yakıt tasarrufu elde edilmiştir. DG2 bölgesinde soğutma için 30 yıllık yakıt tasarrufu 2,76 \$/m² olurken ısıtma için bu değer 80 \$/m² hesaplanmıştır. Isıtma için elde edilen yakıt tasarrufunun soğutma için elde edilen yakıt tasarrufundan daha büyük olmasının sebebi, Türkiye'nin ılıman bir iklim kuşağında bulunması ve soğutma yapılan ayların en sıcak bölge olan DG1 bölgesinde bile beş aydan kısa olmasıdır. DG3 ve DG4 bölgelerinde soğutma için optimum yalıtım kalınlığı oluşmadığından herhangi bir yakıt tasarrufu söz konusu değildir. DG1 bölgesinden DG4 bölgesine gidildikçe soğutma için yakıt tasarrufları azalırken ısıtma için yakıt tasarruflarının arttığı belirlenmiştir.

Tablo 6. Soğutma için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığına karşılık gelen yıllık enerji ihtiyacı, yıllık yakıt maliyeti, 30 yıllık yakıt maliyeti ve 30 yıllık yakıt tasarruflarının ısıtma değerleri ile karşılaştırılması.

DG	Yıllık Enerji İhtiyacı (kWh/m ²)		Yıllık Yakıt Maliyeti (\$/m ²)		30 Yıllık Yakıt Maliyeti (\$/m ²)		30 Yıllık Yakıt Tasarrufu (\$/m ²)	
	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma
1	13,18	19,24	1,44	0,67	32,35	14,65	11,37	43,48
2	7,25	36,35	0,79	1,26	17,71	27,54	2,76	82,00
3	2,35	50,40	0,26	1,74	5,68	38,04	-	112,76
4	2,21	67,08	0,25	2,32	5,47	50,72	-	145,81

SONUÇLAR

Bu çalışmada soğutma yükü etkisi altında; tavan, taban ve cephe optimum yalıtım kalınlıkları, optimum U-değerleri, yıllık enerji ihtiyacı, 30 yıllık yakıt maliyeti ve 30 yıllık yakıt tasarrufu Türkiye'nin dört farklı DG bölgesi için 30 yıllık ömür maliyet analizi yapılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar, TS 825 standardında belirtilen farklı DG bölgeleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Hesaplamalarda, üç farklı yalıtım malzemesi ve enerji olarak elektrik kullanılmıştır.

Sonuçlar bölgeye, yalıtım malzemesine ve bina zarfına bağlı olarak; optimum yalıtım kalınlığının 0,9 cm ile 7,5 cm, 30 yıllık yakıt tasarrufunun 2,76 \$/m² ile 11,37 \$/m² arasında değiştiğini göstermektedir. Sıcak iklim bölgesinden soğuk iklim bölgesine gidildikçe soğutma yükü için optimum yalıtım kalınlığı, yakıt maliyeti ve yakıt tasarrufu azalmaktadır. Soğutma yükü için enerji tasarrufu, sıcak iklim bölgelerinde soğuk iklim bölgelerine göre daha fazla olmaktadır.

DG1 ve DG2 bölgelerinde soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenirken DG3 ve DG4 bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığı belirlenememiştir. Bunun nedeni; DG3 ve DG4 bölgelerinin soğuk iklim kuşağında bulunması ve soğutma için harcanan enerjinin çok küçük olmasıdır.

DG1 bölgesinde yıllık soğutma maliyeti ısıtma maliyetinden daha fazladır. DG1 bölgesinde 30 yıllık yakıt maliyeti soğutma için 32,35 \$/m² olurken bu değer ısıtma için 14,65 \$/m²'dir. DG2 bölgesinde ise ısıtma maliyeti soğutma maliyetinden daha büyüktür. Fakat soğutma için 30 yıllık yakıt maliyeti 17,71 \$/m² gibi hiç küçümsenmeyecek bir değere karşılık gelmektedir. Bu kapsamda özellikle sıcak iklim şartlarına sahip DG1 ve DG2 bölgelerinde optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesinde ısıtma yükü kadar etkili olan soğutma yükünün de optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına katılması gerekmektedir.

TS 825 standardı sadece ısıtma için gerekli enerjinin hesaplanması için düzenlenmiş bir standarttır. Bu standartta soğutma hesabına yer verilmemiştir. Bu çalışmada soğutma enerjisi ihtiyacının hesaplanması için TS EN ISO 13790 standardı temel alınmıştır. Bu standartta soğutma hesabının yapılabilmesi için ulusal parametreler tanımlanmamıştır. Ulusal parametreleri olmayan ülkeler için kullanabilecekleri tavsiye niteliğindeki parametreler verilmekle birlikte ülkelerin ulusal parametrelerini kendilerinin belirlemesi tavsiye edilmiştir. Soğutma yükü hesabının daha doğru yapılabilmesi için ulusal bir standart düzenlenerek ulusal parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi TS 825 standardına ve soğutma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi ise TS EN ISO 13790 standardına göre yapılmıştır. Uluslararası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization /ISO) binalarda ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için ISO 52016-1:2017 "Energy Performance of Buildings/Binaların Enerji Performansı" adı ile yeni bir standart yayımlamıştır. Gelecek çalışmalarda, binaların ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için gizli ısı yüklerinin de hesaplamalara dahil edildiği daha kapsamlı bir yöntem izleyen ISO 52016-1:2017 standardının kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, konut tipi binalarda enerjiyi etkin bir şekilde kullanmanın ilk yolu ısıtma ve soğutma yükünü azaltmaktır. Isıtma ve soğutma yüklerini azaltmak için en ekonomik ve etkili yöntem ısı yalıtımıdır. Isı yalıtımında da en önemli parametre yalıtım kalınlığıdır. Yalıtım kalınlığının doğru tespit edilebilmesi için DG1 ve DG2 bölgelerinde soğutma yükü de optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına dahil edilmelidir. Doğru belirlenen optimum yalıtım kalınlığı ile yakıt tüketimi azaltılacak ve enerji daha verimli kullanılacaktır. Bu kapsamda soğutma yükü hesaplamaları için gerekli ulusal parametrelerin belirlenerek TS 825 standardının tüm bölgelerde soğutma yüklerini de kapsayacak şekilde revize edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), 2015, *Isı yalıtım uygulama kılavuzu*, Ankara, 2-3.

Çomaklı, K. and Yüksel, B., 2003, Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving, *Applied Thermal Engineering*, 23(4), 473-479.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2018, *Türkiye enerji verimliliği gelişim raporu*, Ankara, 10-30.

İnternet, Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ), 2018, *Tarife*, <https://www.botas.gov.tr/index/tur/faaliyetler/dogalgaz/tarifeDetay.asp?yil=2018&ay=2>

İnternet, European Commission (EC), 2012, *EU of the European Parliament and of the Council No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:081:0018:0036:EN:PDF>

İnternet, European Commission (EC), 2018, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency>.

İnternet, İZODER, 2018, <https://www.izoder.org.tr/>

İnternet, TCMB, 2018, 20.02.2018 *Gösterge Niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Kurları*. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Doviz+Kurlari>
İnternet, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB), 2018, *TCMB Faiz Oranları* <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR>

İnternet, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2017, *Elektrik ve Doğal Gaz Fiyatları*, file:///C:/Users/NSRT/Downloads/Elektrik_ve_Do% C4 %9Fal_Gaz_Fiyatlar_29.09.2017.pdf

İnternet, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2018, *Tüketici Fiyat Endeksi, Şubat 2018*. file:///C:/Users/NSRT/Downloads/T%C3%BCKeticici_Fiyat_Endeksi_05.03.2018.pdf

Kaynaklı, Ö., 2013, Türkiye'de bina duvarları için optimum ısı yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri, *İsı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33 (2), 45-55.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2018, *Türkiye enerji verimliliği gelişim raporu*, Ankara, 10-30.
Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014, *Klimaların enerji etiketlemesine dair tebliğ*. (SGM/2013-11), Resmi Gazete, Sayı: 28861.

Kürekcı, N. A., 2016, Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all turkey's provincial centers, *Energy and Buildings*, 118, 197-213.

Mangan, S. D. and Oral, G. K., 2016, Assessment of residential building performances for the different climate zones of Turkey in terms of life cycle energy and cost efficiency, *Energy and Buildings*, 110, 362-376.

Özel, M., 2008, Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 879-884.

Özel, M. ve Tunç, D., 2018, Kars ilindeki binalar için ısıtma yükü ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (1), 251-257.

Sağlam, N. G., Yılmaz, A. Z., Becchio, C. and Corgnati, S. P., 2017, A comprehensive cost-optimal approach for energy retrofit of existing multi-family buildings: Application to apartment blocks in Turkey, *Energy and Buildings*, 150, 224-238.

TS 825, 2008, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 13790, 2013, *Binaların Enerji Performansı-Isıtılması ve Soğutulması için Enerji Kullanımının Hesaplanması*, Türk Standartları Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ



Nusret AYDIN 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans derecesi almıştır. 2003 yılından beri Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesinde görev yapmaktadır.



Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında lisans derecesi aldı. 1992 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Lisans derecesi ve 1998 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden doktora derecesi aldı. 2003-2007 Yılları arasında Yardımcı Doçent, 2007-2013 yılları arasında Doçent olarak Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmıştır. 2013-2017 yılları arasında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmıştır. Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde 2013 yılından bu yana profesör olarak görev yapmaktadır.