

# Kamu Binalarının Isıtma Yüküne Göre Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Enerji Tüketimleri

Okan KON<sup>1</sup>, Bedri YÜKSEL

Balikesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü, 10145 Balikesir

## Özet

Çalışmada, Balikesir Üniversitesi kampüsü içerisindeki Rektörlük ana binası ve Matbaa binasının dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Bunun için, 1999-2010 yıllarını kapsayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü günlük ortalama dış hava sıcaklık verileri ve TS 825 aylık ortalama dış hava sıcaklık verileri yardımıyla Derece-Gün değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan Derece-Gün değerleri ile dış duvarların hesaplanan ve ısı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayıları kullanılarak binaların ısıtma yükleri ve buna bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tüketimleri ve geri dönüş süreleri tespit edilmiştir. Isıtmada yakıt olarak doğal gaz ve dış duvar yalıtım malzemesi olarak dokuz farklı özellikte malzeme kullanılmıştır. Hesaplamalar, Derece-Gün yöntemi ve ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Optimum yalıtım, enerji tüketimi, enerji tasarrufu, kamu binaları

## The Optimum Insulation Thicknesses of Outer Wall and Energy Consumption According to the Heating Load of Public Buildings

### Abstract

This study determined, the optimal insulation thickness and energy consumption of outer walls in Balikesir University Rectorate and Press Buildings. The degree-day data is used for the study, which is calculated from average open-air temperatures per day taken from General Directorate of Meteorology including data from 1999 to 2010, and average open-air temperatures per month TS 825. Heating loads of the buildings, optimal insulation thickness, energy consumption and return times are determined from calculated degree-day values and the heat transfer coefficients of outer walls, which are measured by heat flow plate and calculated. In this case, natural gas is used for

<sup>1</sup> Okan KON okan@balikesir.edu.tr.

*heating and the insulation material that has nine different characteristics is used for insulation of outer walls. In calculations, the degree-day method and life cost analysis are used.*

**Keywords:** *Optimum insulation, energy consumption, energy saving , public buildings*

## 1.Giriş

Her ülke için enerji tasarrufu önemli bir konudur, kullandığı enerjinin çoğunluğu ithal olan Türkiye için çok daha önemlidir. Enerji tasarrufu, enerji tüketiminin azaltılmasıyla sağlanır [1]. Konut sektörü enerji tüketiminde yaklaşık % 25-30'luk pay ile önemli yeri vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre bu alandaki tasarruf potansiyeli % 25-45 arasındadır. Konut sektöründe alan ısıtmak için enerji tüketimi diğer tüketim kaynaklarından (su ısıtma, gıda dondurma, yemek pişirmek v.b.) iki kat daha fazladır. Hem enerji tasarrufu hem de fosil yakıtların yanmasından oluşan zararlı emisyonların azaltılması için kullanılan yalıtımın malzemesi önemlidir [2,3].

Yalıtım, yapı elemanlarından gerçekleşen ısı kaybını azaltır. Kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı ısı konfor ve enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Düşük yalıtım kalınlığı ısının içeriden dışarıya, dışarıdan içeriye daha fazla geçmesine neden olur. Yalıtım kalınlığının artması, kış aylarında iletimle ısı kaybını, yaz aylarında ise iletimle ısı kazancını azaltır. Ancak yalıtım kalınlığının artmasının bir maliyeti vardır ve yalıtım kalınlığı arttıkça ısı iletimindeki azalma belli bir değerden sonra küçük kalmaktadır. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı için optimum bir değer söz konusudur. Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyeti azalır. Ancak kalınlığın artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet belirli bir değerine kadar azalır, bu seviyeden sonra artar. Toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını verecektir [4]. Yalıtım, ısıtma ve soğutma için binaların enerji korunmasının en etkili yollarından biridir. Böylece özellikle yalıtım malzemesinin seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi çok önemlidir [5].

Optimum yalıtım kalınlığı tespitinde kullanılan derece zaman kavramı; enerji gereksinimi tahmininde çok pratik uygulamalarda kullanılır. Temel olarak; iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki farktan yararlanarak binanın enerji ihtiyacını tahmin eden metottur. Ömür maliyet analizi ise (life cycle cost analysis-LCC) ömür üzerine parça ya da sistemin fiyatı hesaplanan ekonomik değerlendirme tekniğidir [2]. Ömür maliyet analizini, ömür süresi ile faiz ve enflasyon oranları etkilemekte olup, optimum yalıtım kalınlığı da bugünkü değer faktörünü (PWF) etkiler. Faiz ve enflasyon oranları sabit değildir. Faiz ve enflasyon oranlarının değişmesi ile birlikte PWF ve dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığı da değişmektedir [4].

Kaynaklı [2] yaptığı çalışmada, derece-saat değerleri hesaplanarak çeşitli mimari dizayn özellikleri için (infiltrasyon, cam tipi ve alan) Bursa'daki örnek bir binanın yıllık enerji gereksinimleri araştırılmıştır. Çalışmada, enerji gereksinimi üzerine yalıtım kalınlığının etkisi ve toplam maliyet incelenmiştir. Yaşam çevrimi maliyet analizine dayanarak optimum yalıtım kalınlığını farklı yakıt tipleri için belirlenmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı farklı yakıt tiplerine göre 5.3 ile 12.4 cm arasında bulunmuştur. Beş ayrı yakıt ile (Doğal Gaz, Kömür, Fuel-oil, LPG ve Elektrik) çift ve tek camlı pencereler için

farklı cam alanları (% 20, 30, 40 ve 50) ve hava değişim oranlarına (0.5, 1.0, 1.5, 2.0) bağlı olarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ile maliyetleri hesaplanmıştır. Yu et al. [5] yaptıkları çalışmada, Çin'deki sıcak yaz ve soğuk kış bölgeleri için 4 şehir (Shanghai, Changsha, Shaoguan ve Chengdu) seçilmiştir. Beş farklı yalıtım malzemesi (Ekspande Polistiren, Ekstrüde Polistiren, Poliüretan Köpük, Perlit ve Polivinil Klorür) kullanılmıştır. P1-P2 ekonomik modeli ve güneş hava soğutma ile ısıtma derece gün analizi kullanılarak konutların duvarları için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Toplam maliyet, tasarruf ve geri dönüş periyodu ömür maliyet analizine dayanarak tespit edilmiştir. Farklı yön, yüzey rengi, yalıtım malzemesi ve iklim için 20 yıllık maliyet üzerine hesaplamalar yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı 0.053-0.236 m ve geri dönüş periyodu 1.9-4.7 yıl, tasarruf 32.0-54.80  $\$/m^2$  arasında bulunmuştur. Mahlia et al. [3] yaptıkları çalışmada, bina duvarları için seçilen yalıtım malzemelerinin kalınlığı ve ısıl iletkenlik arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Isıl iletkenlik ve yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı arasında lineer olmayan ilişki gösteren bir polinom fonksiyonu bulunmuştur. Çalışma, sıcak ve nemli bir ülke olan ve genelde atmosfer sıcaklığında büyük değişimler olmayan Malezya için yapılmıştır. Air-conditionlu ticari binaların dış duvarları için soğutma optimum yalıtım kalınlığı bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı için ömür maliyet analizi ve P1-P2 metodu kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak Fiberglass-üretan, Fiberglass (katı), Üretan (katı), Perlit, Ekstrüde Polistiren ve Üretan (çatı terası) ve yakıt olarak elektrik kullanılmıştır. Çomaklı ve Yüksel [1] yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin en soğuk üç ili Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda derece-gün yöntemi ve ömür maliyet analizi kullanılmıştır. Yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak stropor kullanılmıştır. Erzurum için optimum yalıtım kalınlığı 0.105 m, tasarruf 12.137  $\$/m^2$  ve geri dönüş periyodu 1.458 yıl, Kars için optimum yalıtım kalınlığı 0.107 m, tasarruf 12.7021  $\$/m^2$  ve geri dönüş periyodu 1.446 yıl, Erzincan için optimum yalıtım kalınlığı 0.085 m, tasarruf 7.992  $\$/m^2$  ve geri dönüş periyodu 1.576 yıl olarak hesaplanmıştır. Gölcü et al. [4] yaptıkları çalışmada, Denizli deki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (Kömür ve Fuel-oil) kullanıldığında, dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ile geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Dış duvarlarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Ömür maliyet analizi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir. On yıllık ömür için optimum yalıtım kalınlığı 0.048 ile 0.082 m elde edilmiştir. Yıllık tasarruf ise 12 ile 38.91 TL/ $m^2$  hesaplanmıştır. Kaynaklı ve Yamankaradeniz [6] derece-gün metodunu kullanarak yaptıkları çalışmada, dış duvarlar için yalıtım kalınlıklarını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, yakıt olarak doğal gaz ve yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanmışlardır. Çalışmada ömür maliyet analizi incelenmiş olup Türkiye'de yalıtım kalınlıklarını 2.8 ile 9.6 cm arasında değiştiğini tespit edilmiştir. Dombaycı et al. [7]. yaptıkları çalışmada, beş farklı yakıt (Kömür, Doğal Gaz, LGP, Fuel-oil ve Elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (Ekspande Polistiren ve Taş Yünü) kullanarak Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş süresini hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, ömür maliyet analizi ve derece-gün metodu kullanılmıştır. Geri dönüş süresini, 1.43 yıl ve alan başına tasarrufu ise 14.09  $\$/m^2$  bulunmuştur. Gültekin ve Kadioğlu [8] yaptıkları çalışmada, Marmara Bölgesindeki ısıtma ve soğutma ihtiyacının yerel dağılımını ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Isıtma ve soğutma derece-gün indeksleri ile ısıtmaya ve soğutmaya ihtiyaç duyulan ortalama süreler hesaplanmıştır. 15 °C ve 18 °C taban sıcaklıklarına göre ısıtma derece-gün değerleri, 24 °C taban sıcaklığına göre soğutma derece-gün değerlerini incelenmiştir. Uçar ve Balo [9] yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin dört farklı bölgedeki dört şehir (Mersin, Elazığ, Şanlıurfa ve Bitlis) için 10

yıllık ömürde enerji tasarrufu ve geri dönüş periyodu, beş farklı enerji tipi (Kömür, Doğal Gaz, Fuel oil, LPG, Elektrik) ve dört farklı yalıtım malzemesi (Nil Siding, Ekspande Polistiren, Ekstrüde Polistiren, Taş Yünü) için dış duvarların optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplanmıştır. Hesaplamalarda P1-P2 metodunu kullanılmıştır. Optimum yalıtım uygulaması ile  $4.2 \$/m^2$  ve  $9.5 \$/m^2$  arasında enerji tasarrufu yapılacağı tespit edilmiştir. Ekici et al. [10] yaptıkları çalışmada, Türkiye’de dört iklim bölgesindeki dört farklı (Antalya, İstanbul, Elazığ ve Kayseri) şehir için optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufu ve geri dönüş periyodu hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak fiberglas, ekstrüde polistiren, ekspande polistiren ve köpük poliüretan ve yakıt olarak beş farklı yakıt (Kömür, LPG, Elektrik, Fuel-oil ve Doğal Gaz) üç farklı duvar tipi için (taş, tuğla ve beton) incelemeler yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı 0.2 ile 18.6 cm, enerji tasarrufu 0.038 ile  $250.415 \$/m^2$ , geri dönüş periyodu 0.714 ile 9.104 yıl arasında hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, derece-gün metodu ve ömür maliyet analizi kullanılmıştır. Kon ve Yüksel [11] yaptıkları çalışmada, TS 825 deki iç ortam sıcaklıklarına bağlı olarak derece-gün yöntemi ve ömür maliyet analizine bağlı olarak Balıkesir ilindeki konut dışı üç farklı hacimden (iş ve hizmet amaçlı bürolar, eğitim salonları ve tekstil imalathanesi) oluşan kompleks bir binanın dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığı ve elde edilecek tasarrufu tespit edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak ekspande polistiren ve taş yünü, yakıt olarak kömür ve doğal gaz kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığını tüm bina hacimleri için 0.032 - 0.073 m arasında bulunmuştur. Tolun [12] yaptığı çalışmada, Türkiye’de dört derece-gün bölgesinden seçilen dört farklı (Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum) şehir için optimum yalıtım kalınlıkları tespit edilmiştir. Üç farklı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistiren, taş yünü ve cam yünü) ve üç farklı yakıt (doğal gaz, kömür ve fuel-oil) için toplam maliyet, yıllık tasarruf miktarı ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, derece-gün yöntemi ve ömür maliyet analizi ile bulunmuştur. Ulaş [13] yaptığı çalışmada, okul binaları için ısı kaybı, yakıt tüketimi ve tüketilen yakıtın yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit miktarı dört farklı ısı yalıtım bölgesi ve üç farklı yakıt türü için incelenmiştir. Derece gün yöntemi ve ömür maliyet analizi ile optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bulunan optimum yalıtım kalınlığı, TS 825 hesap yöntemine göre belirlenen yalıtım kalınlıkları ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı yalıtım malzemesi (Ekspande Polistiren, Ekstrüde Polistiren ve Cam Yünü) ve üç farklı yakıt (Linyit ve Maden Kömürü, Doğal Gaz ve Fuel-Oil) kullanılmıştır. En düşük karbondioksit emisyonu 1. Bölge için doğal gaz kullanıldığında, en yüksek karbondioksit emisyonu ise 4. Bölgede linyit ve maden kömürü kullanıldığında ortaya çıkacağını bulunmuştur. Aslan [14] yaptığı çalışmada, Gönen Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin verimliliğini incelenmiştir. Örnek binalar için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Dört farklı yalıtım malzemesi (Ekstrüde Polistiren, Ekspande Polistiren, Cam Yünü ve Taş Yünü) yakıt olarak jeotermal, kömür ve doğal gaz kullanılmıştır. Ömür Maliyet Analizi ve Derece-gün Metodu ile hesaplamalar yapılmıştır. Doğruel [15] yaptığı çalışmada, standart bir bina ve duvar tipi için bazı cephe kaplamalarının ısı yalıtımına ne tür bir etkide bulunduğu saptanmış ve aralarında bir mukayese yapılmıştır. Standart bir duvar için 0.93 olan ısı geçirgenlik katsayısı, giydirme cephe için 0.39, mantolama durumunda 0.72 ye, hava boşluklu çift duvar için 0.78 e, ısı cam durumu için 0.46 ya ve çift cidarlı cephe için 0.18 e düştüğü tespit edilmiştir.

Çalışmada, Balıkesir Üniversitesi kampüsü içerisindeki, Rektörlük Ana binası ve Matbaa binalarından oluşan binanın dış duvarlarının ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Bunun için ilk olarak, 12 yıllık (1999-

2010) günlük ortalama ve TS 825 aylık ortalama dış sıcaklık verileri kullanılarak Derece-Gün değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanarak ve ısı akış plakası ile ölçülen dış duvarların ısı transfer katsayısı değerleri kullanılarak binaların ısıtma yükü için optimum yalıtım kanlıkları, enerji tüketimleri ve geri dönüş süreleri tespit edilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz ve yalıtım malzemesi olarak dokuz farklı özellikte malzeme kullanılmıştır. Hesaplamalar derece gün yöntemine ve on yıllık ömür için ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

## 2. Materyal Metot

### 2.1. Yakıt tüketimi ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı

Dış duvarın birim alan başına ısı kaybı,

$$q = U(T_b - T_o) \quad (1)$$

derece-gün kavramına göre birim alan için yıllık ısı kaybı,

$$q = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (2)$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır. Duvar için toplam ısı geçiş katsayısı,

$$U = \frac{1}{(R_i + R_w + (x/k) + R_o)} \quad (3)$$

eşitliği ile verilirken, yalıtımsız duvar için toplam ısı direnci  $R_{t,w}$ 'ya göre duvarın toplam ısı geçiş katsayısı ise,

$$U = \frac{1}{(R_{t,w} + (x/k))} \quad (4)$$

dir. Burada  $R_i$  ile  $R_o$  iç ve dış ortam ısı dirençleridir.  $x$ , yalıtım kalınlığı;  $k$  yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır. Böylece  $(x/k)$  yalıtım tabakası ısı direncidir. Bu değerlere bağlı olarak tüketilen yıllık yakıt miktarı,

$$M_{yu} = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{t,w} + (x/k)) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (5)$$

formülü ile bulunur. Yıllık yakıt fiyatı ( $C_y$ ) ile çarpılması ile yakıt maliyeti hesaplanabilir. Bu,

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_y}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (6)$$

dir. Yalıtım maliyeti ise,

$$C_{t,ytl} = C_{ytl} \cdot x \quad (7)$$

olurken, toplam ısıtma maliyeti,

$$C_f = C_A \cdot PWF + C_{ytl} \cdot x = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_y \cdot PWF}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{ytl} \cdot x \quad (8)$$

formülü ile bulunur [1,4,6,7,10]. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi (Life Cycle Cost Analysis) yapılmaktadır. Toplam ısıtma maliyeti N yıllık ömür için bugünkü değer faktörü (PWF-Present Worth Factor) ile değerlendirilir. Bugünkü değer faktörü enflasyon ( $g$ ) ve faiz ( $i$ ) oranına dayanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [7]; Eğer  $i > g$  ise gerçek faiz oranı,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (9)$$

Eğer  $i < g$  ise

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (10)$$

dir. O zaman

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (11)$$

olur. Eğer  $i=g$  ise

$$PWF = \frac{N}{1+i} \quad (12)$$

ile bulunur. Denklem (8)'in yalıtım kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse, yalıtım maliyeti ile yakıt maliyetinin en uygun olduğu noktadaki kalınlık olan, optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{DGC_y \cdot k \cdot PWF}{H_u \cdot C_{ytl} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (13)$$

formülü elde edilir [4,6]. Burada,  $H_u$  yakıtın alt ısı değeri,  $C_y$  yakıtın fiyatı,  $C_{ytl}$  yalıtım malzemesinin fiyatı,  $k$ , yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı,  $\eta$  ise ısıtma sisteminin verimidir.

Yalıtım uygulamasının geri dönüş süresi (periyodu),

$$PP = \frac{C_{t,ytl}}{A_s} \quad (14)$$

dir. Burada,  $A_s$  yalıtımsız dış duvar toplam ısıtma maliyeti (denklem (8) kullanılarak) ile yalıtımlı dış duvar toplam ısıtma maliyeti farkıdır [4,12].

## 2.2. Derece-Gün Hesaplamaları

12 yıllık (1999-2010) meteoroloji günlük ortalama sıcaklık verileri için derece-gün değeri,

$$\text{Eğer } (T_0 \leq T_b) \text{ ise } DG = \sum_1^N (T_i - T_0) \quad (15)$$

$$\text{Eğer } (T_0 \geq T_b) \text{ ise } DG = 0 \quad (16)$$

kabul edilerek hesaplanır. Burada;  $T_b$ , binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışınımı v.s.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklıktır ve bu temel sıcaklık olarak tanımlanır.  $T_0$  ise günlük ortalama dış ortam sıcaklığı ve  $T_i$  ise, iç ortam sıcaklığıdır. Buna bağlı olarak ısıtma için günlük derece-gün değeri, denklem 15 ve 16'daki gibi hesaplanır [2,6]. Çalışmada Tablo 2'de verildiği gibi TS 825'de verilerden iç ortam sıcaklığı; Matbaa binası için  $16^\circ\text{C}$ , Ana bina için  $19^\circ\text{C}$ , bütün binaların ortalaması için  $17.5^\circ\text{C}$  alınmıştır [16].

TS 825 dış ortam aylık ortalama sıcaklık verileri için derece-gün değeri ilk olarak, literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, genel olarak yaşam mekânı olan kapalı ortamlarla dış ortam arasında  $3^\circ\text{C}$  sıcaklık farkının bulunduğu ısıtma yapılması gerektiği belirtilmektedir. Bu fark güneş enerjisi ve iç kazançlardan kaynaklanmaktadır. Böylece denge sıcaklığı  $T_b$ , bina iç ortam sıcaklığı  $T_i$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [8,13]:

$$T_b = T_i - 3 \quad (17)$$

Çalışmada, ikinci bölgede bulunan Balıkesir ili için, TS 825 dış ortam aylık ortalama sıcaklık verileri için; Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları denge sıcaklığından büyük olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve  $DG=0$  olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu  $DG$  değeri, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [13,11]:

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise, } DG = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_o) \quad (18)$$

### 2.3. Örnek Binanın Özellikleri:

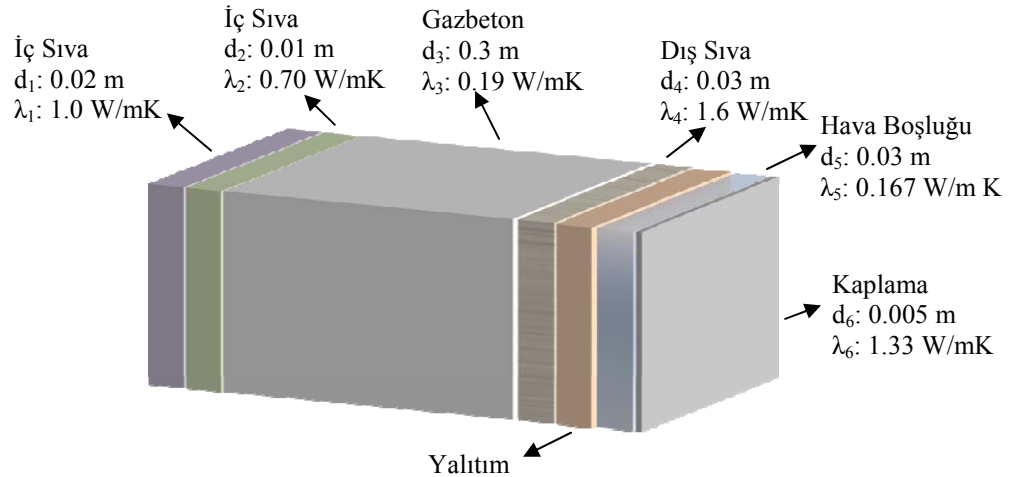
Şekil 1 ve Şekil 2’de Balıkesir Üniversitesi Rektörlük Binasının Ana binası ve Matbaa binası resimleri verilmiştir. Rektörlük binasında, ana bina  $13968 \text{ m}^2$  kullanım alanı,  $4952 \text{ m}^2$  dış duvar alanı ve  $2180 \text{ m}^2$  cam alanına sahiptir. Matbaa binası ise  $1534 \text{ m}^2$  döşeme alanı,  $645 \text{ m}^2$  dış duvar alanı ve  $247 \text{ m}^2$  cam alanına sahiptir [17].



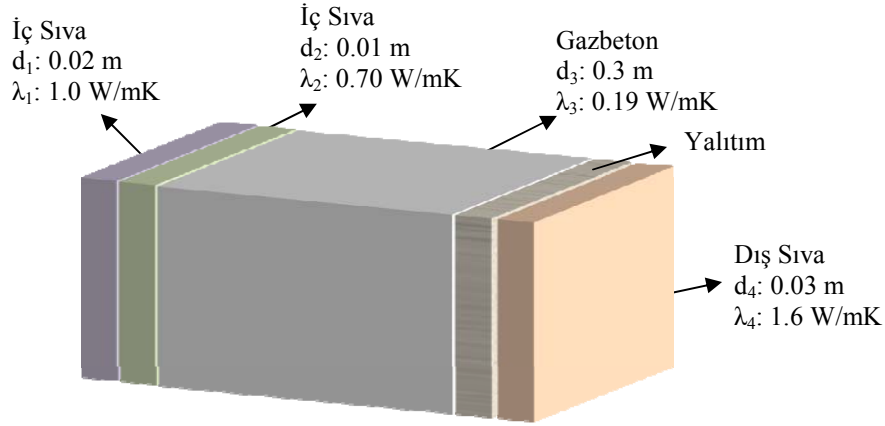
Şekil 1. Balıkesir Üniversitesi Rektörlük Ana Binası Resmi



Şekil 2. Balıkesir Üniversitesi Rektörlük Matbaa Binası (Ek Bina) Resmi



Şekil 3. Rektörlük Ana Binasının Duvar Bileşenleri [15-17].



Şekil 4. Rektörlük Matbaa Binasının Duvar Bileşenleri [16,17].

Örnek binada, Rektörlük ana binasının dış duvarlarının büyük bir kısmı giydirme cephe kaplaması olarak, alüminyum kompozit levha ile kaplıdır. Matbaa binasında ise dış duvarlarında herhangi bir kaplama bulunmamaktadır. Şekil 3 ve Şekil 4’de; Ana binanın dış duvarları için, kaplama olarak alüminyum kompozit levha, hava boşluğu, dış sıva olarak çimento harçlı, gazbeton, iç sıva olarak alçı harcı - kireç alçı harçlı ve ikinci iç sıva olarak kireç harçlı - kireç-çimento harçlı sıva kullanılmıştır. Matbaa binasında, dış sıva olarak çimento harçlı, iç sıva olarak alçı harcı - kireç alçı harçlı ve ikinci iç sıva olarak kireç harçlı - kireç-çimento harçlı sıva kullanılmıştır [15-17].

Tablo 1’de günlük olarak 12 yıllık (1999-2010) ve aylık olarak TS 825 dış ortam sıcaklık verilerine göre meteorolojik sıcaklık değerleri verilmiştir. Tablo 2’de, Tablo 1’deki sıcaklık verileri kullanılarak denklem 15, 16 ve 18 ile hesaplanan, örnek binanın her hacmi ve ortalama hacim için derece-gün değerleri verilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Doğal gazın özellikleri ve fiyatı Balıkesir Gaz Dağıtım Şirketi (BALGAZ), enflasyon ve faiz oranları ise Merkez Bankası ve Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden alınmıştır [18-20]. Yapılan hesaplamalar için kullanılan, yakıt özellikleri ve mali değerler için veriler Tablo 3’de gösterilmiştir. Binanın iç ve dış yüzeyel ısı iletim direnç değerleri TS 825 verilerinden;  $R_i=0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ve Matbaa binası ve kaplama olmayan ana bina için  $R_o=0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , alüminyum kaplamalı ana bina için  $R_o=0.08 \text{ m}^2\text{K/W}$  alınmıştır [16].

Tablo 1. Meteorolojik dış hava sıcaklık verileri [16,21]

Ay	12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Sıcaklık Verileri	TS 825 Dış Ortam Sıcaklık Verileri
Ocak	4.5	2.9
Şubat	5.9	4.4
Mart	8.8	7.3
Nisan	12.8	12.8
Mayıs	17.9	18.0
Haziran	22.9	22.5
Temmuz	25.7	24.9
Ağustos	25.7	24.3
Eylül	20.8	19.9
Ekim	15.9	14.1
Kasım	9.9	8.5
Aralık	6.4	3.8
<b>Ortalama</b>	<b>14.8</b>	<b>13.6</b>



Tablo 2. Örnek bina için ısıtma derece-gün değerleri

Sıcaklık	İmalat ve Atölye Mahalleri (Matbaa Binası)	İş ve Hizmet (Yönetim) Binası (Rektörlük Binası)	Tüm Binaların Ortalaması
Temel ( $T_b$ Denge) Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	13	16	14.5
İç Ortam ( $T_i$ ) Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	16	19	17.5
<b>Derece-Günler</b>	<b>12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Sıcaklık Verileri</b>		
Derece-Gün	1418	2093	1736
	<b>TS 825 Dış Ortam Sıcaklık Verileri</b>		
Derece-Gün	1711	2409	2090

Tablo 3. Hesaplamalara kullanılan yakıt ve mali değerleri [14,17-20]

Parametre	Değer
<b>Yakıt</b>	
Doğal Gaz	
Fiyat, $C_y$	0.439 $\$/\text{m}^3$
Verim, $\eta$	0.93
Alt Isıl Değer, $H_u$	34.645 $10^6 \text{ J}/\text{m}^3$
<b>Mali Değerler</b>	
Faiz Oranı, ( $i$ )	% 9
Enflasyon Oranı, ( $g$ )	% 6.4
Ömür, $N$	10 yıl
PV	8.78

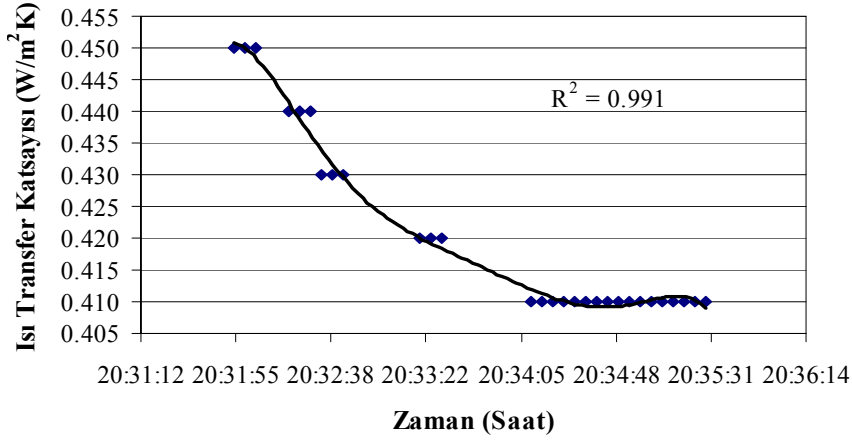
Tablo 4’de beş çeşit dokuz farklı özellikte yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik ve fiyat değerleri gösterilmiştir. Tablo 5’de hesaplanan ve ısı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayısı ve ısı direnç değerleri verilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6’da Rektörlük Ana Binası ve Matbaa Binası (Ek Bina) için ısı akış plakası ile ölçülen dış duvar ısı transfer katsayısı değeri grafiği verilmiştir. Isı transfer katsayısı ölçülürken, ısı akış plakası ölçüm değerinin zamana göre sabit kaldığı değer kabul edilmiştir. Bu değerler Tablo 5 de görülmektedir.

Tablo 4. İzolasyon malzemeleri ve özellikleri [9,10,12,14]

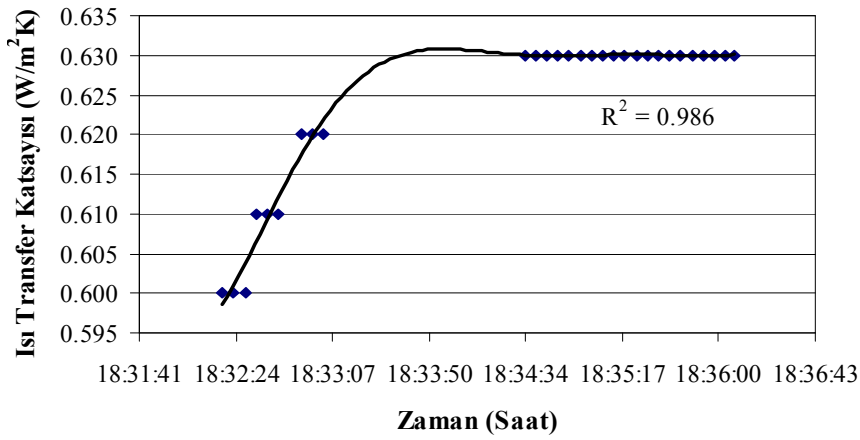
Yalıtım Malzemesi	Isı İletkenlik ( $\text{W}/\text{m K}$ )	Fiyat ( $\$/\text{m}^3$ )
EksturudePolistiren	0.028	144
XPS	0.031	26.69
EkspandePolistiren	0.034	85
EPS	0.039	55
	0.040	20.2
Cam Yünü	0.043	37
	0.050	42
Taş Yünü	0.040	36.98
Poliüretan Köpük	0.035	110

Tablo 5. Hesaplanan ve ölçülen ısı transfer değerleri

	Hesaplanan	Ölçülen
	<b>Ana Bina (Rektörlük Binası)</b>	
Isıl Direnç ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )	2.026	2.439
Isı Transfer Katsayısı ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	0.494	0.410
	<b>Ek Bina (Matbaa Binası)</b>	
Isıl Direnç ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )	1.802	1.587
Isı Transfer Katsayısı ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	0.555	0.630



Şekil 5. Rektörlük Ana Binası için Isı Akış Plakası ile Ölçülen Dış Duvar Isı Transfer Katsayısı

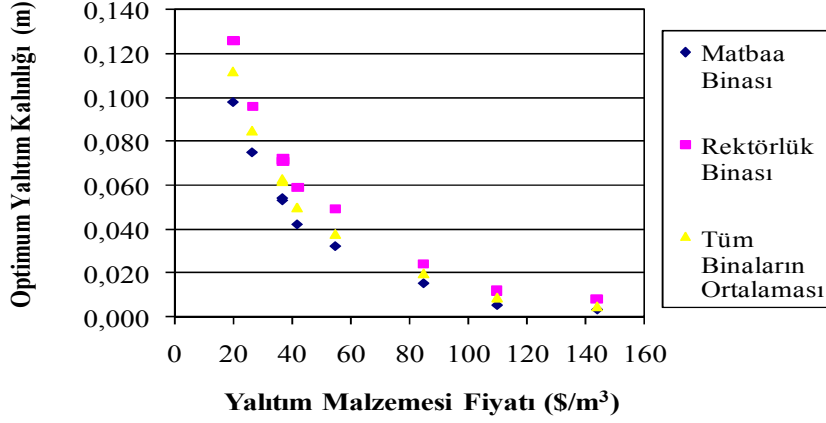


Şekil 6. Rektörlük Matbaa Binası (Ek Bina) Isı Akış Plakası ile Ölçülen Dış Duvar Isı Transfer Katsayısı Değeri

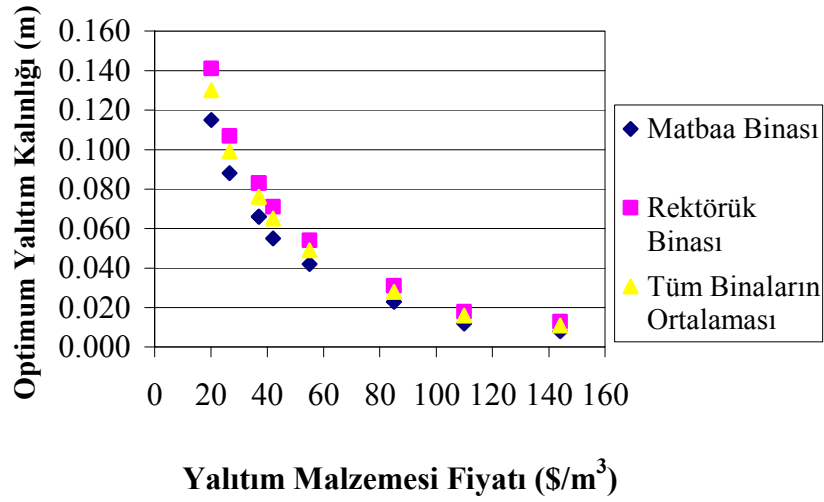
### 3. Bulgular

#### 3.1. Hesaplanan dış duvar ısı transfer katsayısı için optimum yalıtım kalınlığı ve yakıt tüketimi

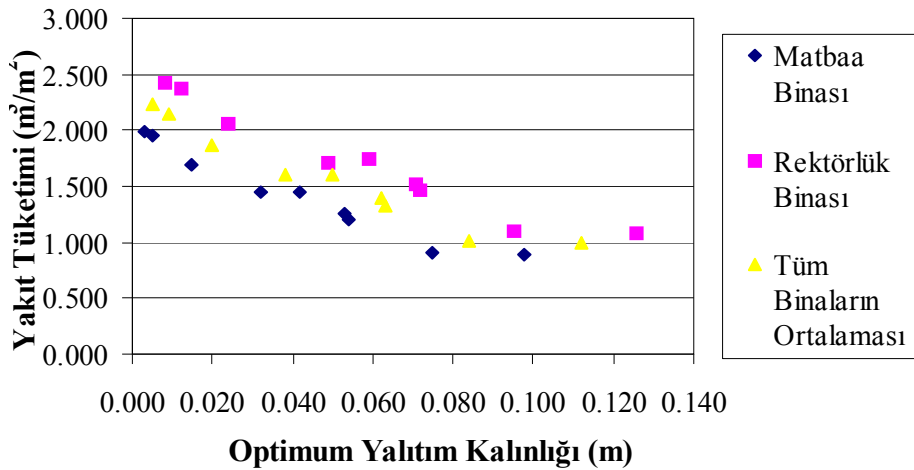
Teorik olarak hesaplanan (denklem 4) ısı transfer katsayısına bağlı olarak, Şekil 6'de 12 yıllık günlük ortalama (1999-2010) ve Şekil 7'de ise TS 825 dış ortam ortalama sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan Derece-Gün değerleri için, yalıtım malzemesi fiyatına bağlı denklem (13) ile bulunan optimum yalıtım kalınlığının grafiği verilmiştir. Şekil 8'da 12 yıllık günlük ortalama (1999-2010) ve Şekil 9'da ise TS 825 dış ortam ortalama sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan Derece-Gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı denklem (5) kullanılarak bulunan yakıt tüketiminin grafiği verilmiştir.



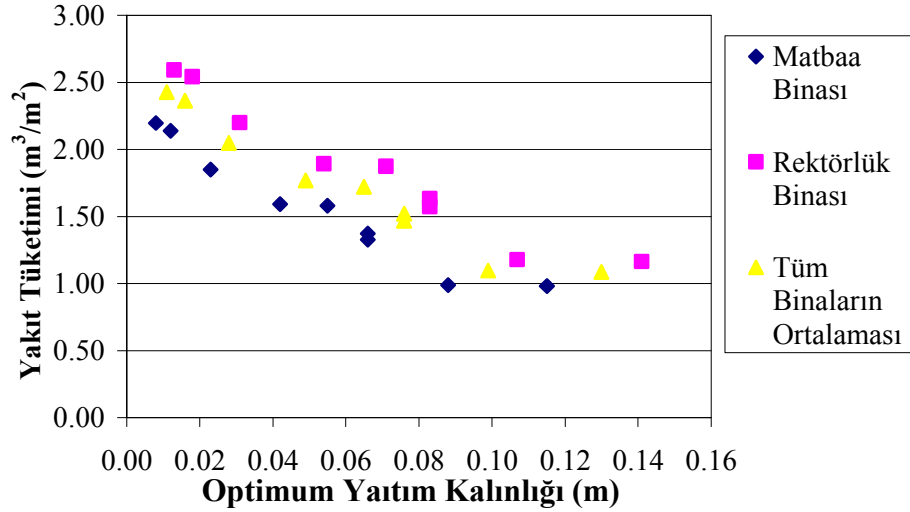
Şekil 6. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Yalıtım Malzemesi Fiyatına Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı



Şekil 7. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Yalıtım Malzemesi Fiyatına Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı



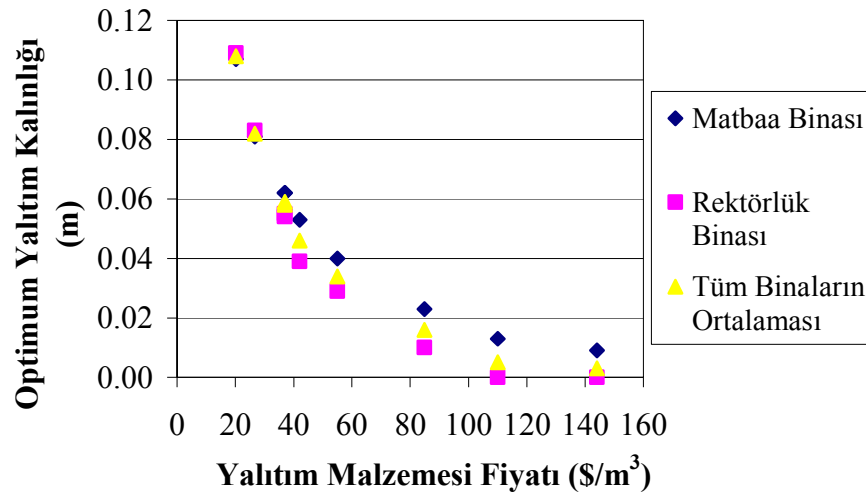
Şekil 8. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tüketimi



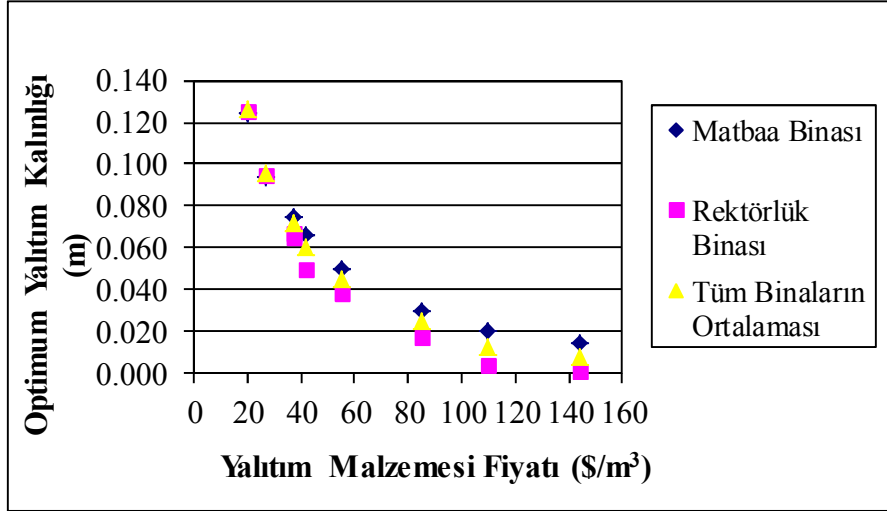
Şekil 9. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığı Bağlı Yakıt Tüketimi

### 3.2. Ölçülen dış duvar ısı transfer katsayısı için optimum yalıtım kalınlığı ve yakıt tüketimi

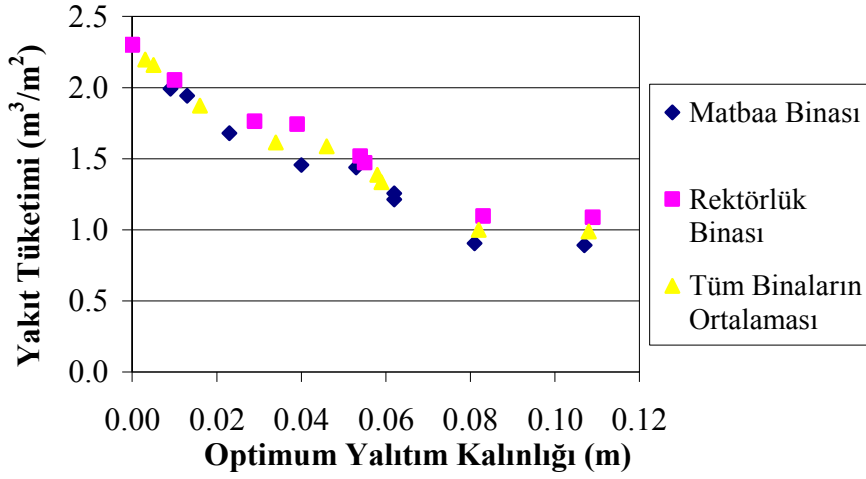
Ölçülen ısı transfer katsayısına bağlı olarak, Şekil 10'da 12 yıllık günlük ortalama (1999-2010), Şekil 11'de ise TS 825 dış ortam (dış hava) ortalama sıcaklık verileri için yalıtım malzemesi fiyatına bağlı optimum yalıtım kalınlığı grafiği verilmiştir. Şekil 12'de 12 yıllık günlük ortalama (1999-2010) ve Şekil 13'de ise TS 825 dış ortam (dış hava) ortalama sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan Derece-Gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı denklem (5) kullanılarak bulunan yakıt tüketimi grafiği verilmiştir.



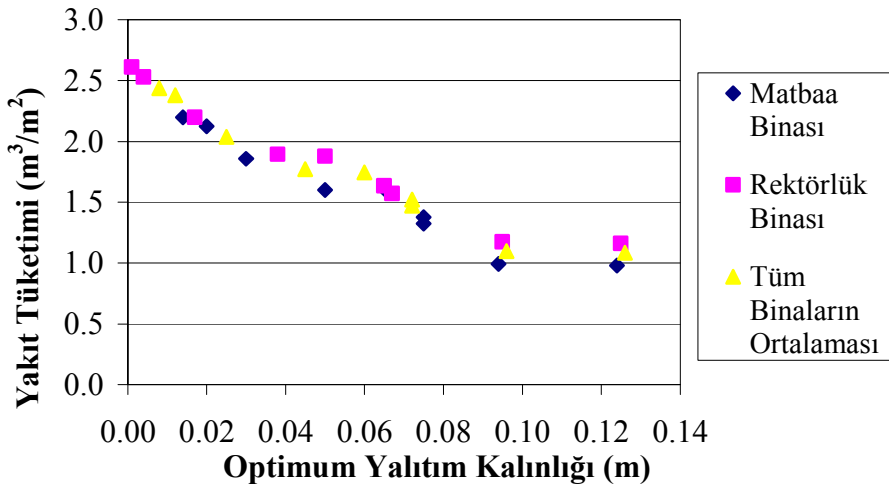
Şekil 10. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Yalıtım Malzemesi Fiyatına Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı



Şekil 11. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Yalıtım Malzemesi Fiyatına Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı



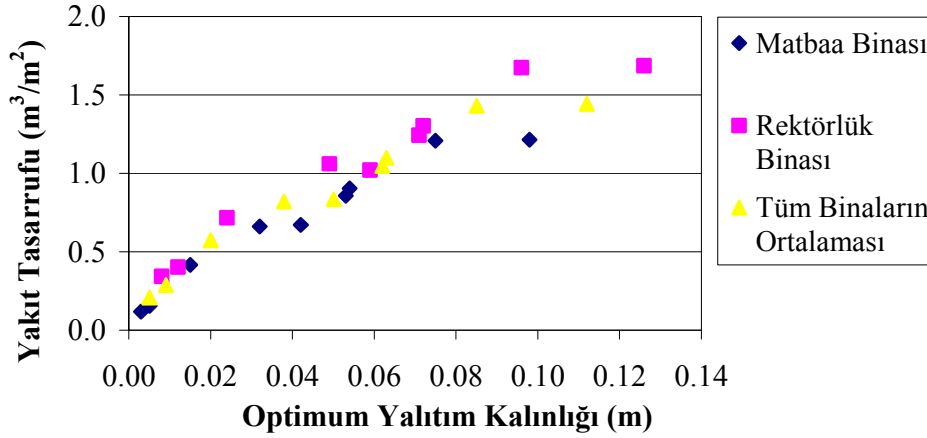
Şekil 12. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tüketimi



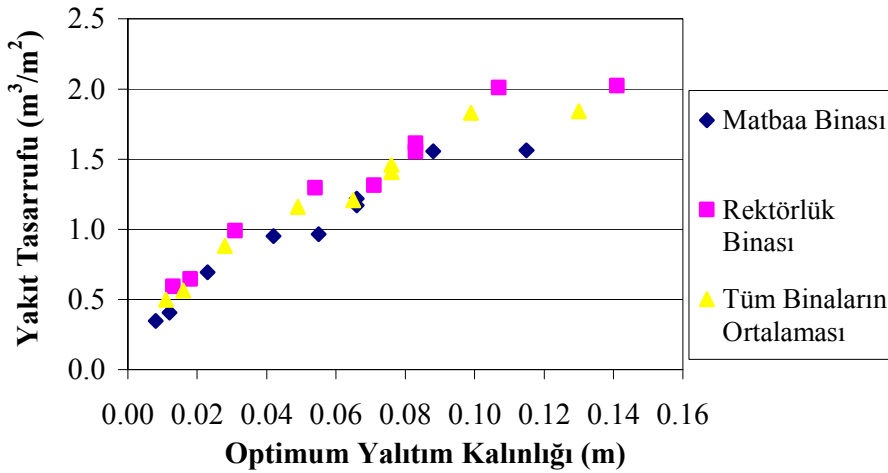
Şekil 13. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tüketimi

### 3.3. Hesaplanan dış duvar ısı transfer katsayısı için yıllık yakıt tasarrufu

Denklem (5) yardımıyla, hesaplanan ısı transfer katsayısına bağlı olarak, Şekil 14’de 12 yıllık meteoroloji günlük ortalama dış hava sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan Derece-Gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı yıllık alan başına yakıt tasarrufu verilmiştir. Şekil 15’de TS 825 dış ortam (dış hava) sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan Derece- Gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı alan başına yıllık yakıt tasarrufu verilmiştir. Yakıt tasarrufu hesaplanırken, yalıtımsız duvar ve optimum yalıtımlı duvar için yakıt tüketimi farkı alınmıştır.



Şekil 14. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığı Bağlı Yakıt Tasarrufu

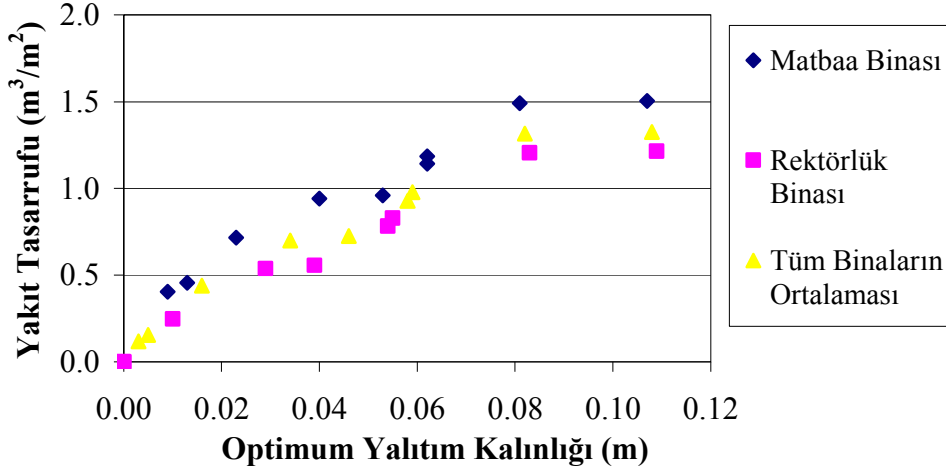


Şekil 15. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tasarrufu

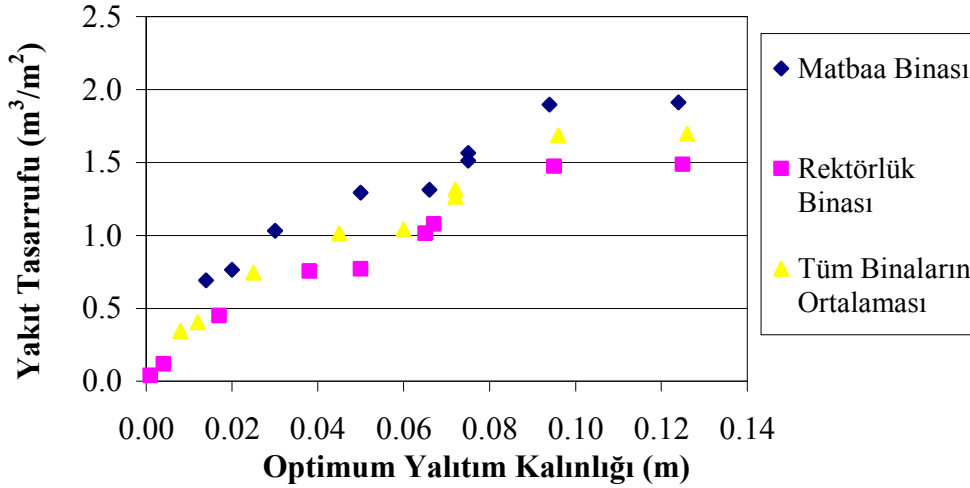
### 3.4. Ölçülen dış duvar ısı transfer katsayısı için yıllık yakıt tasarrufu ve geri dönüş süresi

Denklem (5) yardımıyla, ölçülen ısı transfer katsayısına bağlı olarak, Şekil 16’da 12 yıllık meteoroloji günlük ortalama dış hava sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan derece-gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı yıllık alan başına yakıt tasarrufu verilmiştir. Şekil 17’de TS 825 dış ortam (dış hava) sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan derece-gün değerleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı alan

başına yıllık yakıt tasarrufu verilmiştir. Yakıt tasarrufu hesaplanırken, yalıtımsız duvar ve optimum yalıtımlı duvar için yakıt tüketimi farkı alınmıştır. Tablo 7’de ise denklem (14) kullanılarak hesaplanan ve ölçülen dış duvar ısı transfer katsayısına bağlı olarak, tüm bina hacimleri için minimum geri ödeme süreleri verilmiştir.



Şekil 16. 12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Dış Hava Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tasarrufu



Şekil 17. TS 825 Dış Ortam (Dış Hava) Sıcaklık Verileri Kullanılarak Hesaplanan Derece-Gün Değerleri için Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tasarrufu

Tablo 7. Optimum yalıtım kalınlığına bağlı minimum geri ödeme süreleri

Bina Hacmi	Minimum Geri Ödeme Süresi (yıl)	
	Hesaplanan	Ölçülen
<b>12 Yıllık (1999-2010) Meteoroloji Sıcaklık Verileri</b>		
Matbaa Binası	0.731	0.595
Ana Bina	0.644	0.889
Tüm Binaların Ort.	0.684	0.746
<b>TS 825 Dış Ortam Sıcaklık Verileri</b>		
Matbaa Binası	0.626	0.515
Ana Bina	0.575	0.787
Tüm Binaların Ort.	0.587	0.636

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada, hesaplanan ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak dıştan yalıtım uygulaması için, giydirme cephe kaplamalı Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığı; 0.008 ile 0.141 m arasında, Matbaa binası için 0.003 ile 0.115 m arasında, tüm binaların ortalaması için 0.005 ile 0.130 m arasında hesaplanmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7). Isı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve üç farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığı; 0 ile 0.125 m arasında, Matbaa binası için 0.009 ile 0.124 m arasında, tüm binaların ortalaması için 0.003 ile 0.126 m arasında hesaplanmıştır (Şekil 10 ve Şekil 11).

Hesaplanan ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığında alan başına yakıt tüketimi; 1.084-2.594 m<sup>3</sup> arasında, Matbaa binası için 0.894-2.198 m<sup>3</sup> arasında, tüm binaların ortalaması için 0.988-2.429 m<sup>3</sup> arasında hesaplanmıştır (Şekil 8 ve Şekil 9). Isı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığında alan başına yakıt tüketimi; 1.087-2.610 m<sup>3</sup> arasında, Matbaa binası için 0.892-2.199 m<sup>3</sup> arasında, tüm binaların ortalaması için 0.988-2.438 m<sup>3</sup> arasında hesaplanmıştır (Şekil 12 ve Şekil 13).

Hesaplanan ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığının uygulaması ile yalıtımsız dış duvara göre alan başına; 2.025 m<sup>3</sup>'e, Matbaa binası için 1.565 m<sup>3</sup>'e, tüm binaların ortalaması için 1.843 m<sup>3</sup>'e kadar tasarruf sağlanacaktır (Şekil 14 ve Şekil 15). Isı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak Rektörlük ana binasının optimum yalıtım kalınlığında; 1.488 m<sup>3</sup>'e, Matbaa binası için 1.912 m<sup>3</sup>'e, tüm binaların ortalaması için 1.264 m<sup>3</sup>'e kadar yakıt tasarrufu sağlanacaktır (Şekil 16 ve Şekil 17).

Hesaplanan ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının uygulaması ile minimum geri ödeme süreleri; Rektörlük ana binası için 0.575 ve 0.644 yıl, Matbaa binası için 0.626 ve 0.731 yıl, tüm binaların ortalaması için 0.587 ve 0.684 yıl arasında değişmektedir (Tablo 7). Isı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayısı için 9 ayrı yalıtım malzemesine ve iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının uygulaması geri ödeme süreleri; Rektörlük ana binası için 0.787 ve 0.889 yıl, Matbaa binası için 0.515 ve 0.595 yıl, tüm binaların ortalaması için 0.636 ve 0.746 yıl arasında değişmektedir (Tablo 7).

Sonuç olarak, 9 ayrı yalıtım malzemesi için iki farklı derece-gün değerlerine bağlı olarak bulunan optimum yalıtım kalınlığı en düşük olan yalıtım malzemesi, tüm bina hacimleri ile ölçülen ve hesaplanan ısı transfer katsayısı için Ekstrude Polistiren (XPS) olarak tespit edilmiştir. Ekstrude Polistiren aynı zamanda en yüksek birim fiyata sahip yalıtım malzemesidir. Ayrıca Ekstrude Polistiren en yüksek yakıt tüketimine, en düşük yakıt tasarruf miktarına ve en yüksek geri dönüş süresine sahiptir. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı ise en düşük birim fiyata sahip olan Ekspande Polistiren olarak tespit edilmiştir. Ekspande Polistiren ise en düşük yakıt tüketimine, en yüksek yakıt tasarrufuna ve en düşük geri dönüş süresine sahiptir.



**Semboller**

$M_{yıl}$	Alan başına yıllık yakıt tüketimi ( $m^3/m^2yıl$ )
$DG$	Derece gün ( $^{\circ}C-Gün$ )
$R_{t,w}$	Yalıtımsız duvar toplam ısı direnci ( $m^2 K/W$ )
$R_i$	İç ortam ısı direnci ( $m^2 K/W$ )
$R_o$	Dış ortam ısı direnci ( $m^2 K/W$ )
$k$	Isı iletim katsayısı ( $W/m K$ )
$x$	Yalıtım kalınlığı ( $m$ )
$x_{Opt}$	Optimum yalıtım kalınlığı ( $m$ )
$i$	Faiz oranı (%)
$g$	Enflasyon oranı (%)
$N$	Ömür (yıl)
$T_b$	Temel sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_0$	Günlük ortalama dış sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_i$	İç ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$H_u$	Yakıt alt ısı değeri ( $J/m^3$ )
$\eta$	Isıtma sistemi verimi
$U$	Isı transfer katsayısı ( $W/m^2 K$ )
$q$	Birim alan başına ısı kaybı ( $J/m^2$ )
$PP$	Geri dönüş süresi (yıl)
$PWF$	Bugünkü değer faktörü
$r$	Gerçek faiz oranı
$C_y$	Yakıt fiyatı ( $\$/m^3$ )
$C_{yıl}$	Yalıtım malzemesi fiyatı ( $\$/m^3$ )
$C_{b,yıl}$	Yalıtım maliyeti ( $\$/m^2$ )
$C_A$	Yakıt maliyeti ( $\$/m^2$ )
$C_f$	Toplam ısıtma maliyeti ( $\$/m^2$ )

**Kaynaklar**

- [1] Çomaklı K., Yüksel B., Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, **Applied Thermal Engineering**, 23, 473-479, (2003).
- [2] Kaynaklı Ö., A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, **Renewable Energy**, 33, 1164-1172, (2008).
- [3] Mahlia T.M.I., Taufiq B. N., Ismail B.N., Masjuki H.H., Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building Wall, **Energy and Buildings**, 39, 182-187, (2007).
- [4] Gölcü M., Dombaycı A., Abalı S., Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu Etkisi ve Sonuçları, **Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi**, 21, 4, 639-644, (2006).
- [5] Yu J, Yang C., Tian L., Liao D., A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, **Applied Energy**, 86, 2520-2529, (2009).
- [6] Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R., Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, **VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, Bildiler Kitabı, 187-195, İzmir, (25-28 Ekim 2007).
- [7] Dombaycı Ö. A., Gölcü M., Pancar Y., Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, **Applied Energy**, 83, 19, 921-928, (2006).

- [8] Gültekin M.L., Kadioğlu M., Marmara bölgesinde ısıtma soğutma derece-günlerinin dağılımı, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, Sayı:31, (1996).
- [9] Uçar A., Balo F., Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls, **Renewable Energy**, 35, 88-94, (2010).
- [10] Ekici B. B., Gülten A. A., Aksoy U. T., A Study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey, **Applied Energy**, 92, 211-217, (2012).
- [11] Kon, O., Yüksel B., Konut Dışı Kompleks Yapılar için Optimum Yalıtım Kalınlığı, **18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniđi Kongresi**, ULIBTK'11, 604-610, Zonguldak, (07-10 Eylül 2011).
- [12] Tolun M., Farklı Derece-Gün Bölgeleri için Yalıtım Probleminin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2010), İstanbul.
- [13] Ulaş A., Binalarda TS 825 Hesap Yöntemine Göre Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu Hesabı ve Maliyet Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (2010).
- [14] Aslan A., Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Termoekonomik Verimliliđinin İncelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, (2010).
- [15] Doğruel N., Binalarda Cephe Kaplamalarının Isı Yalıtımına Etkisi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, (2010).
- [16] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, **Türk Standardı**, (Mayıs 2008).
- [17] Balıkesir Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Verileri, (1996)
- [18] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Web Sitesi <http://www.tcmb.gov.tr/>, (17.01.2012)
- [19] Türkiye İstatistik Kurumu Web Sitesi <http://www.tuik.gov.tr>, (17.01.2012)
- [20] Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A. Ş. (BALGAZ) Doğal Gaz Verileri, (2011).
- [21] Meteoroloji Genel Müdürlüğü Dış Hava Sıcaklık Verileri, (2011).