



Okan Kon

Balıkesir University, okan@balikesir.edu.tr, Balıkesir-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.1.1A0360>

**FARKLI PENCERE TİPLERİ, YALITIM MALZEMELERİ VE YENİLENEBİLİR YAKIT
TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK KONUTLAR İÇİN ISITMA VE SOĞUTMA ENERJİ
GEREKİNİMİ**

ÖZ

Çalışmada, binalarda ısı yalıtım kuralları için Türk standardı TS 825'e göre 2. bölgede bulunan Türkiye'nin kuzeybatısındaki Balıkesir ilindeki örnek konut için pencere tipi, yalıtım malzemesi ve yenilenebilir yakıt gibi özellikler dikkate alınarak ısıtma ve soğutma yakıt tüketimi ve enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Konutun çatısının da cam yünü, dış duvarında ekstrüde polistiren, ekspande polistiren ve poliüretan köpük ve döşemesinde de taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Çatı, dış duvar ve döşeme için ısıtma ve soğutma dönemleri birlikte düşünülerek optimum yalıtım kalınlığı dikkate alınmıştır. Yakıt olarak, ısıtma dönemi için Balıkesir ilinde önemli miktarda kullanılan jeotermal enerji, biyokütle olarak zeytin çekirdeği ve odun, soğutma döneminde ise elektrik göz önüne alınmıştır. Tek camlı, çift camlı, doğramasız ve çeşitli doğramalı durumlar için pencerelere bağlı olarak ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Hesaplamalar derece-gün metodu ve ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimum Yalıtım Kalınlığı, Pencere Tipleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sürdürülebilirlik, Binalarda Yalıtım

**ENERGY REQUIREMENTS FOR HEATING AND COOLING FOR HOUSING DEPENDING ON
DIFFERENT TYPES OF WINDOW, INSULATION MATERIALS AND RENEWABLE FUEL**

ABSTRACT

In this study, heating and cooling requirements, and energy consumption are calculated taking into account the characteristics of window type, insulation and renewable fuels of a sample house which locates in northern western province of Turkey called Balıkesir that is in the second region according to TS 825 which is a Turkish Standard of thermal insulation in buildings. Glass wool in the housing roof; extruded polystyrene, expanded polystyrene, polyurethane foam at the outer walls; and rock wool insulation materials are used for the flooring. Optimal insulation thickness is taken into account for the roofs, external walls and floors as heating and cooling periods are considering together. As a fuel for heating period, a significant amount of usage of geothermal energy in Balıkesir; olive kernel and wood as biomass; and electricity has been taken into consideration during the cooling. Depending on the window heating and cooling energy requirements is calculated for the single glazed, double glazed, and various woodwork window conditions. Calculations are made based on degree-day methods, and life-cycle cost analysis.

Keywords: Optimum Insulation Thickness, Window Types, Renewable Energy Sources, Sustainability, Insulation in Buildings

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görevi iç hacimlerin yeterli ölçüde aydınlatılması ve iç ortam ile dış ortam arasındaki görsel bağı sağlamak olan ve bu yüzden de saydam bir eleman olması gereken pencereler yapı kabuğunda ısı kaybının en çok gerçekleştiği bileşenlerdir. Büyük ısı kayıplarına sebep olan bu yüzeyler güneşli kış günlerinde ışınlama ısı kazancı sağlamalarına karşı, kapalı kış günlerinde kazanç çok az olduğu için dışarıya olan ısı kayıpları nedeniyle toplamda binanın ısı ihtiyacının artmasına neden olurlar. Isıtma ihtiyacını belirleyen önemli bir parametre pencerelerde kullanılan cam türüdür. Pencerelerden kaybedilen enerjinin %70'i ışınlama, %30'u ise iletimle gerçekleşmektedir [1]. Alp-Himalaya Tektonik Kuşağı üzerinde bulunan Türkiye, jeolojik özellikleri ve meteorolojik koşulları etkisiyle jeotermal enerji yönünden oldukça zengin bir ülkedir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MWT/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye, jeotermal enerji potansiyelinde dünya'da 7., Avrupa'da ilk sıradadır. Türkiye'deki jeotermal sahaların %42'si, konut ısıtmasına uygun sıcaklıktadır. Balıkesir ili ise jeotermal kaynaklar yönünden oldukça zengindir. Türkiye'de jeotermal enerji potansiyeli en yüksek il sıralamasında Balıkesir 4. sıradadır.

Balıkesir de, Pamukçu, Balya, Bigadiç, Sındırgı, Edremit, Güre, Manyas, Kepekler, Gönen ve Susurluk yörelerinde jeotermal enerji açısından çok önemli sıcak su kaynakları bulunmaktadır. Türkiye'deki ilk jeotermal ısıtma uygulaması, 1964 yılında Gönen (Balıkesir)'de bir otelin ısıtılması ile başlamıştır. 1987 yılından beri Gönen'de 16,3 MWT kapasiteli bölgesel ısıtma (konut) yapılmaktadır. Balıkesir'deki jeotermal enerjinin büyük bir bölümünden mahal ısıtmada yararlanılmaktadır. Bu doğrultuda, Gönen, Edremit, Bigadiç ve Güre olmak üzere 4 adet jeotermal bölgesel ısıtma sistemi kurulmuş ve bu sistemlerde 10.000 konut eşdeğer civarında ısıtma gerçekleştirilmektedir. Bu değer, Türkiye'de jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri aracılığı ile ısıtılan toplam konut sayısının yaklaşık %15'inin Balıkesir' de gerçekleştirildiği anlamına gelmektedir. Ayrıca Sındırgı ilçesinde jeotermal bölgesel ısıtmaya yönelik olarak 3.000 konutluk ısıtma sistemi projelendirilmiş olup, yapım aşamasına geçilmiştir [2].

Türkiye iklim ve arazi yapısı itibarıyla tarımsal ürün deseni ve üretimi bakımından zengin çeşitliliğe sahip bir ülkedir. Türkiye'de modern biyokütle enerji teknolojisinin uygulanması ile enerji bitkileri yetiştiriciliği ve enerji üretimi için kullanılacak atık/artıklar değerlendirilecektir. Teorik olarak yıllık potansiyel biyokütle enerjisi 135-150 milyon TEP olarak hesaplanmaktadır. Olası kayıplar da bu işlemde çıkarılırsa net olarak yaklaşık 90 milyon TEP değeri karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, tüm üretim alanları yıl boyunca, sadece biyokütle üretimi için kullanılamamaktadır. Bu durum da göz önüne alındığında, ülkemizde yaklaşık olarak yıllık 40 milyon TEP biyoenerji üretim potansiyeli bulunmaktadır. Orman artıklar enerji üretiminde kullanılabilir biyokütle olarak değerlendirilebilmektedir. Balıkesir ilinde biyokütle olarak odun ve orman artığı olarak yılda ortalama 157723 ton üretilmektedir. Balıkesir yakacak odun ve orman artığı toplamı ile ilk 10 il arasında yer almaktadır. Balıkesir ilinde ortalama 42.951 ton/yıl kuru zeytin atığı elde edilmektedir. Bu değer ısı kapasitesi ortalama 743.052 GJ/Yıl'dır. Zeytin atığı, yakıt olarak da kabul edilmiştir ve her alanda kullanılabilir. Zeytinyağı üretiminden çıkan ham zeytin atığı kurutularak kullanılmaktadır [2]. Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Ülkemizde konut ve yapı sektörünün, toplam enerjinin yaklaşık yüzde 30-35'ini tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline

sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır [3]. TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardında ülkemiz, derece-gün (DG) sayılarına göre 4 bölgeye ayrılmıştır. 1. bölge, ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir [4]. Isı yalıtımı uygulamalarında, yalıtım malzemesi kalınlığı artırılarak, enerji kayıpları ve hava kirliliği azaltılabilir. Ancak yalıtım kalınlığının hemen hemen hiç ısı kaybı olmayacak şekilde artırılması ne ekonomiktir ne de mümkündür. Yalıtım yatırım tutarı ile yalıtımlı binada sağlanacak tasarruflar arasında bir denge noktası belirlenmelidir. Denge noktası, en iyi yalıtım kalınlığıdır. Belirli bir ekonomik ömür için yalıtım ve işletim giderlerinin en az olmasını sağlayan yalıtım kalınlığına en iyi yalıtım kalınlığı (optimum yalıtım kalınlığı) denilmektedir [5].

Literatürü incelersek, Bektaş B. ve Aksoy U.T. yaptıkları çalışmada, konutlarda pencere yönleri ile farklı cam ünitelerinin ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma, soğuk iklim bölgesinde yer alan Elazığ'da olduğu varsayılan müstakil tek katlı bir konut için TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardındaki hesaplama yöntemiyle kullanılmıştır. Bu amaçla örnek konut için dört ana yönde bulunan farklı pencere alanları, doğrama (ahşap, plastik ve alüminyum) ve cam (tek cam, low-e kaplamalı çift cam) türleri, için binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır [1]. Dombaycı Ö.A. yaptığı çalışmada, Türkiye'deki 79 şehir için 21 yıllık veriler ile günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar kullanarak çeşitli temel sıcaklıklar için ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini hesaplamıştır. Çalışmada, ısıtma derece-günlerde 15.5, 17.5, 19.5, 21 ve 23, soğutma derece-günlerde 19, 20, 22, 24, 26 ve 28 dereceler için temel sıcaklıklar kullanılmıştır [6]. Lopez F.J., Pinzi S., Ruiz J.J., Lopez A. ve Dorado M.P. yaptıkları çalışmada, İspanya Andalusia Lucena'daki devlet okullarında ısıtma sistemleri için biyokütle yakıt olarak zeytin ağacı atıklarının kullanılmasına hakkında ekonomik yaşam analizi incelenmiştir. Isı maliyeti hesapları VDI 2067 standardına dayanmaktadır. Yatırımı kurtarmak için gerekli zaman üzerine fiyat değişiminin etkisini belirleyen duyarlılık analizi incelenmiştir. Ekonomik canlılık fuel-oil, doğal gaz, diğer zeytin atıkları yakıtları için karşılaştırılmıştır [7].

Hassouneh K., Alshboul A. ve Al-Salaymeh A. yaptıkları çalışmada, Amman'daki apartman binalarının enerji dengesi üzerine pencerelerin etkisi, geliştirilen ASHREA tablolarına dayanan (SDS) simülasyon yazılımına kullanılarak incelenmiştir. Yazılım 32. enlemdeki Amman şehri için güneş ısı kazancı ve soğutma yüküne dayanan ASHREA tablolarına dayanır. Çalışmada, farklı yönlerde ve alanlarındaki sekiz tip camlı pencereler kullanılmıştır [8]. Yaşar Y. ve Kalfa S.M. yaptıkları çalışmada, renkli cam, açık yansıtıcı cam, düşük emsiviteli cam ve akıllı cam kullanılan çift camlı pencereli binaların enerji tüketimi incelenmiştir. Bu cam malzemeler güneş kontrolü ve ısı tasarrufu sağlayarak binaların ısıtma ve soğutma yüklerini azaltırlar. Çalışmada, Türkiye de ikinci iklim bölgesindeki Trabzon ilindeki binalar seçilmiştir. TOKİ konutlarındaki yüksek katlı binalar simülasyonlar için model olarak kullanılmıştır. Design-Builder v. 1.8 enerji simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre akıllı cam ve düşük emsiviteli camlar bina enerji tüketimi ve ekonomik olarak en verimli alternatiflerdir [9]. Michopoulos A., Skoulou V., Voulgari V., Tsikaloudaki A. ve Kyriakis N.A. yaptıkları çalışmada, Yunanistan da bina ısıtması için geleneksel yakıt (diesel yakıt) yerine zirai ve orman biyokütle atığı kullanımının sonucu enerji, çevre ve finansal kazancı araştırılmıştır. Bina enerji ihtiyacı Energy Plus yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.



Bina Yunanistan'ın farklı iklim bölgelerinde kabul edilmiştir. Çalışmada, diesel yakıt yerine atık biyokütle ile yakılan yakıcı sisteminin net bugünkü değeri ve fayda/fiyat göstergesi belirlenmiştir [10]. Florides G.A., Tassou S.A., Kalogirou S.A. ve Wrobel L.C. yaptıkları çalışmada, ısı yükünü azaltmak için modern evlerin enerji akışının modellenmesi ve simülasyonu için TRNSYS bilgisayar programı kullanılmıştır. Hesaplamalarda, tipik meteorolojik yıl ve tipik model ev kullanılmıştır. Doğal ve kontrollü havalandırma, gölgelenme, çeşitli tip cam, yön, köşe faktörü, termal kütle için denemeler yapılmıştır [11]. Hepbasli A. yaptığı çalışmada, çeşitli enerji kaynaklarının enerji ve ekserji değeri araştırılmıştır. Enerji kaynağı olarak kömür, doğal gaz, ocak yakıtı, diesel yakıt, LPG ve odundur. Ek olarak ısı pompası ve bölge ısıtma için elektrik kullanılmıştır. Enerji kaynakları kimyasal ekserji ilişkisi sunulmuştur. Ek olarak türk konut sektöründe çeşitli enerji kaynaklarının fiyatı tamamlayıcı olarak verilmiştir. Sonuçta enerji ve ekserji fiyatları her biri diğeri ile karşılaştırılmıştır [12].

Appelfeld D., Hansen C.S. ve Svendsen S. yaptıkları çalışmada, cam elyaf takviyeli polyester enerji verimli pencere çerçevesindeki gelişmeler sunulmuştur. Çerçeve tasarımı önerisi verilmiştir. Çerçevelerin enerji ve yapısal performansı hesaplanmış ve ahşap ile alüminyum çerçevelerle karşılaştırılmıştır. Isıl hesapları, güneş enerjisi, ışık transmisyonu, ısı kaybı ve yük kapasitesine dayanarak yapılmıştır. Sonuçta çerçevelerin enerji tasarruf potansiyeli referans ofis binası için analiz edilmiştir. Pencere çerçevesi için cam elyaf takviyeli polyester enerji tasarrufu açısından uygun olduğu bulunmuştur [13]. Gasparella A., Pernigotto G., Cappelletti F., Romagnoni P. ve Baggio P. yaptıkları çalışmada, iyi yalıtılmış binaların pik yükleri ve yaz ile kış enerji ihtiyaçları üzerine iç kazançlar pencere yönü, pencere büyüklüğü, cam sisteminin farklı türlerinin etkisi değerlendirilmiştir. Paris, Milan, Nice ve Roma için incelemeler yapılmıştır [14]. Borah P., Singh M.K. ve Mahapatra S. yaptıkları çalışmada, kuzey-doğu Hindistan iklim bölgesinde ılık ve nemli, soğuk ve nemli, soğuk ve bulutlu iklimler için ısıtma ve soğutma derece-günler tahmin edilmiştir. Derece-gün değerleri farklı temel sıcaklıklar için Schoenau-Kehrig metodu, UKMO denklemleri ve ASHRAE formülü ile üç farklı metot kullanılarak hesaplanmıştır [15]. Alaidroos A. ve Krarti M. yaptıkları çalışmada, bina kaplama elemanlarının optimizasyonu ile Suudi Arabistan'daki Riyad, Dhahran, Tabuk ve Abha şehirlerindeki konutların enerji performansını geliştirmek için kapsamlı analizler sunulmuştur. Çalışmada duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, pencere alanı, pencere camı, pencere gölgelenmesi ve termal kütle gibi bina kaplamalarının enerji tasarrufu ölçümlerini içerir. Optimizasyon işlemi enerji tasarrufu ve ömür maliyetine dayanır [16]. Diğer yapılan çalışmalarda, Türkiye'de farklı iklim bölgesindeki şehirler için farklı yakıtlar ve yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığını ve enerji tasarrufunu hesaplanmıştır. Hesaplamalar, derece-gün metodu ve ömür maliyet analizine göre yapmışlardır [3, 5, 17 ve 28].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çalışmada amaç, Türkiye'nin kuzeybatısında TS 825'e göre ikinci bölgede bulunan Balıkesir ilindeki örnek konut için farklı pencere tipi, yalıtım malzemesi ve yenilenebilir yakıt gibi özellikler dikkate alınarak ısıtma ve soğutma yakıt tüketimi ve enerji gereksinimi hesaplamaktır. Bunun için tek katlı ve üstü çatı kaplı örnek konut ele alınmıştır. Konutun çatısının da (tavan) cam yünü, dış duvarında ekstrüde polistiren, ekspande polistiren ve poliüretan köpük ve döşemesinde (taban) de taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır.



Çatı, dış duvar ve döşeme için ısıtma ve soğutma dönemleri birlikte düşünülerek optimum yalıtım kalınlığı dikkate alınmıştır. Yakıt olarak, ısıtma dönemi için Balıkesir ilinin çeşitli ilçelerinde önemli miktarda kullanılan jeotermal enerji, biyokütle olarak zeytin çekirdeği ve odun, soğutma döneminde ise elektrik kullanıldığı kabul edilmiştir. Tek camlı, çift camlı, doğramasız ve çeşitli doğramalı durumlar için pencerelere bağlı olarak ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Hesaplamalar derece-gün metoduna ve ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

Çalışma, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olan Balıkesir ili için enerji kaynağı olarak jeotermal, biyokütle olarak odun ve zeytin atığı kullanan binaların, dış duvar, çatı ve döşeme gibi yapı elemanlarının farklı yalıtım malzemeleri kullanarak optimum yalıtım kalınlığının ve pencere tiplerine bağlı ısıtma ile soğutma enerji tüketiminin bulunması açısından önemlidir. Benzer çalışmalarda yakıt olarak kömür ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılırken bu çalışmada, jeotermal, zeytin atığı ve odun gibi yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmıştır. Ek olarak TS 825 'teki farklı cam ve doğrama özelliğindeki tüm pencere tipleri için ısıtma ve soğutma dönemleri birlikte düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda genelde ısıtma tek olarak düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

3.1. Derece-Gün Hesabı (Degree-Day Calculation)

Balıkesir'in 19.5 °C temel sıcaklık için ısıtma Derece-gün değeri 2312, 22 °C temel sıcaklık için soğutma derece-gün değeri 369 olarak bulunmuştur [6].

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) < (t_b - t_{\min}) \text{ ise } IDG_{\text{gün}} = 0.5(t_b - t_{\min}) + 0.25(t_{\max} - t_b) \quad (1)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) > (t_b - t_{\min}) \text{ ise } IDG_{\text{gün}} = 0.5(t_b - t_{\min}) - 0.25(t_{\max} - t_b) \quad (2)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} < t_b, t_{\min} < t_b \text{ ise } IDG_{\text{gün}} = t_b - 0.5(t_b + t_{\min}) \quad (3)$$

$$IDG_{y11} = \sum_{\text{günler}} IDG_{\text{gün}} \quad (4)$$

$$IDG = \frac{\sum_{21 \text{ yıl}} IDD_{\text{yıl}}}{21} \quad (5)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) < (t_b - t_{\min}) \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.25(t_{\max} - t_b) \quad (6)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) > (t_b - t_{\min}) \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.5(t_b - t_{\min}) - 0.25(t_{\max} - t_b) \quad (7)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} > t_b \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.5(t_{\max} + t_{\min}) - t_b \quad (8)$$

$$SDG_{y11} = \sum_{\text{günler}} SDG_{\text{gün}} \quad (9)$$

$$SDG = \frac{\sum_{21 \text{ yıl}} SDD_{\text{yıl}}}{21} \quad (10)$$

3.2. Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı (Optimum Insulation Thickness Calculation)

Isıtma yakıt maliyeti,

$$C_H = \frac{86400.IDG.a.C_f}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} \quad (11)$$

Soğutma yakıt maliyeti,

$$C_C = \frac{86400.DG.a.C_e}{(R_{t,w} + x/k).COP} \quad (12)$$

dir. Yalıtım maliyeti ise,

$$C_{t,ytl} = C_{ytl} .x \quad (13)$$

olurken, toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{t,H} = C_H.PWF + C_{ytl}.x = \frac{86400.IDG.a.C_f.PWF}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} + C_{ytl}.x \quad (14)$$

toplam soğutma maliyeti,

$$C_{t,C} = C_C.PWF + C_{ytl}.x = \frac{86400.SDG.a.C_e.PWF}{(R_{t,w} + x/k).COP} + C_{ytl}.x \quad (15)$$

formülleri ile bulunur [3, 4, 18, 20, 23 ve 28]. 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 [27]. Bugünkü değer faktörü ve aşağıdaki gibi hesaplanır;

eğer $i > g$ ise gerçek faiz oranı,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (16)$$

eğer $i < g$ ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (17)$$

dir. O zaman $PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r.(1+r)^N}$ olur. (18)

Eğer $i = g$ ise

$$PWF = \frac{N}{1+i} \quad (19)$$

ile bulunur [27 ve 29].

Isıtma+soğutma'da yakıt maliyeti, ısıtma ve soğutma yakıt maliyetlerinin toplamıdır,

$$C_{H,C} = \left(\frac{86400.PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \left(\frac{C_f.a.IDG}{H_u.\eta} + \frac{C_e.a.SDG}{COP} \right) \quad (20)$$



Isıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlığı bulunurken gerekli toplam maliyet ise; ısıtma, soğutma ve yalıtım maliyetlerinin toplamıdır.

$$C_{i,H,C} = \left(\frac{86400PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \left(\frac{C_y \cdot a \cdot IDG}{H_u \cdot \eta} + \frac{C_e \cdot a \cdot SDG}{COP} \right) + (C_{yH} \cdot x) \quad (21)$$

toplam maliyet denkleminin x'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlerse aşağıda verilen ısıtma+soğutma için optimum yalıtım kalınlığı denklemi elde edilir [3, 4, 18, 23 ve 28].

$$x_{opt,H,C} = 293.94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_y \cdot k \cdot a \cdot PWF}{H_u \cdot C_{yH} \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e \cdot k \cdot a \cdot PWF}{C_{yH} \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (22)$$

Isıtma+soğutma için; optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında, dış ortamla temas eden dış duvar ve çatı için a katsayısı 1 olarak alınır. Dış ortamla temas etmeyen döşeme için a katsayısı 0.5 ve çatı için 0.8 olarak alınmaktadır [18 ve 30].

3.3 Isıtma ile Soğutma Dönemi Yakıt Tüketimi ve Enerji İhtiyacı (Fuel Consumption and Energy Needs for Cooling and Heating Period)

Havalandırma ısı kaybına bağlı olarak, ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için bina için ısı kaybı [17],

$$U_G = \sum_{i=1}^M UA + I(\rho C_p)_{Hava} V / 3600 \quad (23)$$

bulunur. Burada havanın hacimsel ısıl kapasitesi $\rho(C_p)_{Hava}$ değeri 1200 J/m³.K olarak alınarak ısı kaybı [17 ve 30],

$$U_G = U_{dd} \cdot (A_{dd} - A_p) + U_p \cdot A_p + 0.5 U_{dö} A_{dö} + 0.8 U_{tv} A_{tv} + U_k \cdot A_k + IV/3 \quad (24)$$

bulunmuştur. Burada; U_{dd} dış duvar, U_p pencere, $U_{dö}$ döşeme (taban), U_{tv} tavan, U_k kapı için ısı transfer katsayısını ve A_{dd} dış duvar, A_p pencere, $A_{dö}$ döşeme (taban), A_{tv} tavan, A_k kapı için alan değerlerini göstermektedir. Buna göre binanın ısıtma enerji gereksinimi ile yakıt tüketimi, ısıtma derece-gün (IDG) değerine ve binanın genel ısı kaybına bağlı olarak;

$$Q_H = 86400 \cdot U_G \cdot IDG \quad (25)$$

$$M_{fH} = \frac{86400 \cdot U_G \cdot IDG}{\eta \cdot H_u} \quad (26)$$

hesaplanır. Burada η ısıtma sistemi verimi ve H_u ise kullanılan yakıtın alt ısıl değeridir. Soğutma enerji gereksinimi ise soğutma derece-gün (SDG) değerine ve binanın ısı kaybına bağlı olarak;

$$Q_C = 86400 \cdot U_G \cdot SDG \quad (27)$$

$$M_{fC} = \frac{86400 \cdot U_G \cdot SDG}{COP} \quad (28)$$

hesaplanır. Burada COP soğutma sistemi performans katsayısı değeridir [17].

3.4. Örnek Bina-Yapı Özellikleri (Sample Building-Construction Specifications)

Örnek konutun ölçüleri 12×10×3 boyutlarındadır ve tek katlı müstakil kullanıma sahiptir. TS 825'e göre ikinci bölgededir. Çatı alanı 120 m², dış duvar 132 m², 120 m² döşeme alanına sahiptir. Toplam hacim ise V=360 m³'tür. Dış duvar alanınının %30 (39.6 m²) cam alanı bulunmaktadır. Saatlik hava değişim oranı 1'dir. Kapı alanı 3 m²'dir.

Tablo 1'de örnek alınan binanın yapı bileşenleri ve ısı transfer katsayıları verilmiştir.

Tablo 1. Örnek binanın yapı bileşenleri ve ısı transfer katsayıları [17, 18, 21, 30 ve 31]

(Table 1. Building components and heat transfer coefficients of the sample building [17, 18, 21, 30 ve 31])

Parametre	Bileşen	Değer
Çatı		
	R_i	0.130 m ² .K/W
0.020 m	Alçı harcı sıva	0.700 W/m.K
0.120 m	Donatılı Beton	2.500 W/m.K
x_{opt} m	Isı Yalıtımı (cam yünü)	0.050 W/m.K
	R_d	0.080 m ² .K/W
Dış Duvar		
	R_i	0.130 m ² .K/W
0.020 m	Kireç -çimento harcı iç sıva	1.000 W/m.K
0.190 m	Yatay delikli tuğla	0.360 W/m.K
x_{opt} m	Isı Yalıtımı	λ_{y1t} W/m.K
0.030 m	Çimento harcı sıva	1.600 W/m.K
	R_d	0.040 m ² .K/W
Kapı		
		$U_k=5.8$ W/m ² .K
Döşeme		
	R_i	0.170 m ² .K/W
0.005 m	Sert odun lifli levha	0.130 W/m.K
0.030 m	Çimento harçlı şap	1.400 W/m.K
x_{opt} m	Isı yalıtım (taş yünü)	0.040 W/m.K
0.020 m	Çimento harçlı şap	1.400 W/m.K
0.100 m	Donatısız beton	1.650 W/m.K
	R_d	0 m ² .K/W

3.5. Hesaplamalarda Kullanılan Yakıtlar, Mali Değerler, Pencere ve Yalıtım Malzemesi Özellikleri (Fuels, Financial Value, Window and Insulation Material Properties that are used in Calculation)

Tablo 2'de hesaplamalarda kullanılan elektrik fiyatı, soğutma COP ve mali değerler, Tablo 3'de ısıtma için kullanılan yakıtlar ve özellikleri, Tablo 4'de farklı pencere tiplerine bağlı ısı transfer katsayısı değerleri, Tablo 5'de ise Çatı, Dış Duvar ve Döşemede Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Elektrik fiyatı, Soğutma COP ve mali değerler [32 ve 35]
(Table 2. The price of electricity, cooling COP and financial values)

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Yakıt		Mali Değerler	
Elektrik		Faiz Oranı, (i)	% 11.8
Fiyat	0.174 \$/kWh	Enflasyon Oranı, (g)	% 9.4
Soğutma COP	2.5	Ömür, N	10 yıl
		PWF	8.89

Tablo 3. Isıtma için kullanılan yakıtlar ve özellikleri [12, 18 ve 36]
(Table 3. Fuels used for heating and their features [12, 18 ve 36])

Yakıt	Fiyat	Alt Isıl Değer H_u	Verim η (%)
Jeotermal Enerji	0.4482 \$/kg	36.000×10^6 J/kg	98
Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)	0.1439 \$/kg	20.934×10^6 J/kg	87
Biyokütle (Odun)	0.2000 \$/kg	18.792×10^6 J/kg	60

Tablo 4. Farklı pencere tiplerine bağlı ısı transfer katsayısı değerleri [30]

(Table 4. Heat transfer coefficient values according to different window types [30])

Pencere Tipi	Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e (Kaplama-lı Cam)				
		6	9	12	16	6	9	12	16	
Doğramasız	5.7	3.3	3.0	2.9	2.7	2.6	2.1	1.8	1.6	
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	5.1	3.3	3.1	3.0	2.8	2.8	2.3	2.2	2.0
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	4.9	3.1	2.9	2.8	2.6	2.6	2.2	2.0	1.8
	Plastik Doğrama (20dacıklı)	5.2	3.4	3.2	3.0	2.9	2.9	2.4	2.3	2.1
	Plastik Doğrama (30dacıklı)	5.0	3.2	3.0	2.8	2.7	2.7	2.2	2.1	1.9
	Alüminyum Doğrama	5.9	4.0	3.9	3.7	3.6	3.6	3.1	3.0	2.8
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	5.2	3.4	3.2	3.0	2.9	2.9	2.4	2.3	2.1

Tablo 5. Çatı, dış duvar ve döşemede kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri [18, 20 ve 22]

(Table 5. Characteristics of insulation materials used for roof, exterior walls and floorings [18, 20 ve 22])

Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Isı İletkenlik Değeri (W/mK)	Fiyat (\$/m ³)
Çatı	Cam Yünü	0.050	42
Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0.028	144
	Ekspande Polistiren (EPS)	0.040	20.2
	Poliüretan Köpük (PUR)	0.035	110
Döşeme	Taş Yünü	0.040	36.98

4. BULGULAR (FINDINGS)

4.1. Farklı Yakıtlar için Isıtma+soğutma Çatı, Dış Duvar ve Döşeme Optimum Yalıtım Kalınlığı (Optimum Insulation Thickness for of the Heating + Cooling Roof, Exterior Walls and Floor for Different Fuels)

Tablo 6'da Yalıtımsız yapı elemanın ısı transfer katsayısı ve Tablo 7'de ise Çatı, Dış Duvar ve Döşeme için optimum yalıtım kalınlığı verilmiştir.

Tablo 6. Yalıtımsız yapı elemanın ısı transfer katsayısı (Table 6. Heat transfer coefficient of uninsulated construction element)

Yapı Elemanı	Yalıtımsız Yapı Elemanın Isı Transfer Katsayısı (W/m.K)
Tavan	0.287
Dış Duvar	0.737
Döşeme	0.305

Tablo 7. Çatı, dış duvar ve döşeme için optimum yalıtım kalınlığı
(Table 7. Optimum insulation thickness of roof, exterior walls and floorings)

Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	Optimum Yalıtımlı Yapı Elemanın Isı Transfer Katsayısı (W/mK)
Jeotermal Enerji			
Tavan	Cam Yünü	0.149	0.306
Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0.054	0.375
	Ekspande Polistiren (EPS)	0.210	0.167
	Poliüretan Köpük (PUR)	0.070	0.365
Döşeme	Taş Yünü	0.113	0.320
Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)			
Tavan	Cam Yünü	0.122	0.367
Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0.041	0.454
	Ekspande Polistiren (EPS)	0.167	0.204
	Poliüretan Köpük (PUR)	0.053	0.444
Döşeme	Taş Yünü	0.091	0.388
Biyokütle (Odun)			
Tavan	Cam Yünü	0.173	0.267
Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren (XPS)	0.064	0.331
	Ekspande Polistiren (EPS)	0.241	0.148
	Poliüretan Köpük (PUR)	0.083	0.322
Döşeme	Taş Yünü	0.129	0.283

4.2. Örnek Binada Yalıtımlı-Yalıtımsız Çatı, Dış Duvar ve Döşeme için Farklı Yakıtlara Bağlı Isıtma ile Soğutma Yakıt Tüketimi ve Enerji Gereksinimi (Cooling and Heating Fuel Consumption and Energy Requirements for Different Types of Fuels for the Insulated-Uninsulated Roof, Exterior Wall and Floor of the Sample House)

Tablo 8'de yalıtımsız bina için yakıt tüketimi, Tablo 9'da yalıtımsız bina için ısıtma enerjisi gereksinimi, Tablo 10'da yalıtımsız bina için soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi, Tablo 11'de yalıtımlı binada jeotermal, biyokütle (zeytin çekirdeği) ve biyokütle (odun) yakıtlar için ısı enerjisi gereksinimi, Tablo 12'de yalıtımlı bina için jeotermal yakıt tüketimi, Tablo 13'de yalıtımlı bina için biyokütle (zeytin çekirdeği) yakıt tüketimi, Tablo 14'de yalıtımlı bina için biyokütle (odun) yakıt tüketimi, Tablo 15'de yalıtımlı bina için soğutma enerji ihtiyacı ve Tablo 16'da yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve yalıtım malzemelerine bağlı elektrik yakıt tüketimi verilmiştir.



Tablo 8. Yalıtımsız bina için farklı pencere tiplerine bağlı yakıt tüketimi (kg)
(Table 8. Fuel consumption for the uninsulated

Jeotermal Enerji										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	2843.811	2305.691	2238.426	2216.004	2171.161	2148.739	2036.630	1969.365	1924.522
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	2709.281	2305.691	2260.847	2238.426	2193.582	2193.582	2081.474	2059.052	2014.208
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	2664.438	2260.847	2216.004	2193.582	2148.739	2148.739	2059.052	2014.209	1969.365
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	2731.703	2328.112	2283.269	2238.426	2216.004	2216.004	2103.895	2081.474	2036.630
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	2686.859	2283.269	2238.426	2193.582	2171.161	2171.161	2059.052	2036.630	1991.787
	Alüminyum Doğrama	2888.654	2462.642	2440.221	2395.377	2372.956	2372.956	2260.847	2238.426	2193.582
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	2731.703	2328.112	2283.269	2238.426	2216.004	2216.004	2103.895	2081.474	2036.630
Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	5508.810	4466.405	4336.105	4292.671	4205.804	4162.371	3945.203	3814.902	3728.035
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	5248.209	4466.405	4379.538	4336.105	4249.238	4249.238	4032.070	3988.636	3901.769
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	5161.342	4379.538	4292.671	4249.238	4162.371	4162.371	3988.636	3901.769	3814.902
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	5291.643	4509.839	4422.972	4336.105	4292.671	4292.671	4075.503	4032.070	3945.203
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	5204.776	4422.972	4336.105	4249.238	4205.804	4205.804	3988.636	3945.203	3858.336
	Alüminyum Doğrama	5595.678	4770.440	4727.007	4640.140	4596.706	4596.706	4379.538	4336.105	4249.238
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	5291.643	4509.839	4422.972	4336.105	4292.671	4292.671	4075.503	4032.070	3945.203
Biyokütle (Odun)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	8898.259	7214.485	7004.014	6933.856	6793.542	6723.385	6372.598	6162.127	6021.812
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	8477.316	7214.485	7074.171	7004.014	6863.699	6863.699	6512.913	6442.756	6302.441
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	8337.001	7074.171	6933.856	6863.699	6723.385	6723.385	6442.756	6302.441	6162.127
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	8547.473	7284.643	7144.328	7004.014	6933.856	6933.856	6583.070	6512.913	6372.598
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	8407.158	7144.328	7004.014	6863.699	6793.542	6793.542	6442.756	6372.598	6232.284
	Alüminyum Doğrama	9038.574	7705.586	7635.429	7495.114	7424.957	7424.957	7074.171	7004.014	6863.699
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	8547.473	7284.643	7144.328	7004.014	6933.856	6933.856	6583.070	6512.913	6372.598



Tablo 9. yalıtımsız bina için farklı pencere tiplerine bağlı ısıtma enerjisi gereksinimi (GJ)
(Table 9. Heating energy requirements for the uninsulated building depending on the different window types)

Jeotermal Enerji, Biyokütle (Zeytin Çekirdeği) ve Biyokütle (Odun)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	100.330	81.345	78.972	78.181	76.599	75.808	71.852	69.479	67.897
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	95.583	81.345	79.763	78.972	77.390	77.390	73.434	72.643	71.061
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	94.001	79.763	78.181	77.390	75.808	75.808	72.643	71.061	69.479
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	96.374	82.136	80.554	78.972	78.181	78.181	74.225	73.434	71.852
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	94.792	80.554	78.972	77.390	76.599	76.599	72.643	71.852	70.270
	Alüminyum Doğrama	101.912	86.882	86.091	84.509	83.718	83.718	79.763	78.972	77.390
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	96.374	82.136	80.554	78.972	78.181	78.181	74.225	73.434	71.852

Tablo 10. Yalıtımsız bina için farklı pencere tiplerine bağlı soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi
(Table 10. Cooling energy requirements and fuel consumption for the uninsulated building depending on the different window types)

Soğutma Enerji İhtiyacı (GJ)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	16.013	12.983	12.604	12.478	12.225	12.099	11.468	11.089	10.837
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	15.255	12.983	12.731	12.604	12.351	12.351	11.720	11.594	11.342
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	15.003	12.730	12.478	12.351	12.099	12.099	11.594	11.342	11.089
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	15.382	13.109	12.857	12.604	12.478	12.478	11.847	11.720	11.468
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	15.129	12.857	12.604	12.351	12.225	12.225	11.594	11.468	11.215
	Alüminyum Doğrama	16.265	13.867	13.740	13.488	13.362	13.362	12.730	12.604	12.351
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	15.382	13.109	12.857	12.604	12.478	12.478	11.847	11.720	11.468
Soğutma Yakıt Tüketimi (kWh)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	1779.202	1442.533	1400.449	1386.421	1358.365	1344.337	1274.198	1232.114	1204.058
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	1695.035	1442.533	1414.477	1400.449	1372.393	1372.393	1302.253	1288.226	1260.170
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	1666.979	1414.477	1386.421	1372.393	1344.337	1344.337	1288.226	1260.170	1232.114
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	1709.063	1456.561	1428.505	1400.449	1386.421	1386.421	1316.281	1302.253	1274.198
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	1681.007	1428.505	1400.449	1372.393	1358.365	1358.365	1288.226	1274.198	1246.142
	Alüminyum Doğrama	1807.258	1540.729	1526.700	1498.644	1484.616	1484.616	1414.477	1400.449	1372.393
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	1709.063	1456.561	1428.505	1400.449	1386.421	1386.421	1316.281	1302.254	1274.198

Tablo 11. Yalıtımlı binada jeotermal, biyokütle (zeytin çekirdeği) ve biyokütle (odun) yakıtlar için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı ısı enerjisi gereksinimi (GJ)
(Table 11. Thermal energy requirement of geothermal, biomass (Olive Kernel) and biomass (wood) fuels for the insulated buildings depending on the different window types and external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi										
Ekstrüde Polistiren (XPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	94.461	75.476	73.103	72.312	70.730	69.939	65.984	63.611	62.028
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	89.715	75.476	73.894	73.103	71.521	71.521	67.566	66.775	65.193
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	88.133	73.894	72.312	71.521	69.939	69.939	66.775	65.193	63.611
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	90.506	76.267	74.685	73.103	72.312	72.312	68.357	67.566	65.984
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	88.924	74.685	73.103	71.521	70.730	70.730	66.775	65.984	64.402
	Alüminyum Doğrama	96.043	81.013	80.222	78.640	77.849	77.849	73.894	73.103	71.521
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	90.506	76.267	74.685	73.103	72.312	72.312	68.357	67.566	65.984
Ekspandé Polistiren (EPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	90.624	71.639	69.266	68.475	66.893	66.102	62.147	59.773	58.191
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	85.878	71.639	70.057	69.266	67.684	67.684	63.729	62.938	61.356
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	84.296	70.057	68.475	67.684	66.102	66.102	62.938	61.356	59.773
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	86.669	72.430	70.848	69.266	68.475	68.475	64.520	63.729	62.147
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	85.087	70.848	69.266	67.684	66.893	66.893	62.937	62.147	60.564
	Alüminyum Doğrama	92.206	77.176	76.385	74.803	74.012	74.012	70.057	69.266	67.684
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	86.669	72.430	70.848	69.266	68.475	68.475	64.520	63.729	62.146
Poliüretan Köpük (PUR)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	94.278	75.294	72.920	72.129	70.547	69.756	65.801	63.428	61.846
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	89.532	75.294	73.711	72.920	71.338	71.338	67.383	66.592	65.010
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	87.950	73.711	72.129	71.338	69.756	69.756	66.592	65.010	63.428
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	90.323	76.085	74.503	72.920	72.129	72.129	68.174	67.383	65.801
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	88.741	74.503	72.920	71.338	70.547	70.547	66.592	65.801	64.219
	Alüminyum Doğrama	95.861	80.831	80.040	78.458	77.667	77.667	73.711	72.920	71.338
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	90.323	76.085	74.503	72.920	72.129	72.129	68.174	67.383	65.802



Tablo 12. Yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı jeotermal yakıt tüketimi (kg)
(Table 12. Geothermal fuel consumption for the insulated building depending on the different window types and external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi										
Ekstrüde Polistiren (XPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	2677.466	2139.345	2072.080	2049.659	2004.815	1982.394	1870.285	1803.020	1758.177
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	2542.936	2139.346	2094.502	2072.080	2027.237	2027.237	1915.129	1892.707	1847.864
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	2498.092	2094.502	2049.659	2027.237	1982.394	1982.394	1892.707	1847.864	1803.020
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	2565.357	2161.767	2116.924	2072.080	2049.659	2049.659	1937.550	1915.129	1870.285
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	2520.514	2116.924	2072.080	2027.237	2004.815	2004.815	1892.707	1870.285	1825.442
	Alüminyum Doğrama	2722.309	2296.297	2273.876	2229.032	2206.611	2206.611	2094.502	2072.080	2027.237
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	2565.357	2161.767	2116.924	2072.080	2049.659	2049.659	1937.550	1915.129	1870.285
Ekspande Polistiren (EPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	2568.704	2030.583	1963.318	1940.897	1896.053	1873.632	1761.523	1694.258	1649.415
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	2434.174	2030.583	1985.740	1963.319	1918.475	1918.475	1806.367	1783.945	1739.101
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	2389.330	1985.740	1940.897	1918.475	1873.632	1873.632	1783.945	1739.101	1694.258
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	2456.595	2053.005	2008.162	1963.318	1940.897	1940.897	1828.788	1806.367	1761.523
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	2411.752	2008.162	1963.318	1918.475	1896.053	1896.053	1783.945	1761.523	1716.680
	Alüminyum Doğrama	2613.547	2187.535	2165.113	2120.270	2097.848	2097.848	1985.740	1963.318	1918.475
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	2456.595	2053.005	2008.162	1963.318	1940.897	1940.897	1828.788	1806.367	1761.523
Poliüretan Köpük (PUR)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	2672.291	2134.170	2066.905	2044.484	1999.640	1977.219	1865.110	1797.845	1753.002
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	2537.761	2134.170	2089.327	2066.905	2022.062	2022.062	1909.954	1887.532	1842.689
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	2492.917	2089.327	2044.484	2022.062	1977.219	1977.219	1887.532	1842.689	1797.845
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	2560.182	2156.592	2111.749	2066.905	2044.484	2044.484	1932.375	1909.954	1865.110
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	2515.339	2111.749	2066.905	2022.062	1999.640	1999.640	1887.532	1865.110	1820.267
	Alüminyum Doğrama	2717.134	2291.122	2268.700	2223.857	2201.435	2201.435	2089.327	2066.905	2022.062
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	2560.182	2156.592	2111.749	2066.905	2044.483	2044.483	1932.375	1909.954	1865.110

Tablo 13. Yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı biyokütle (Zeytin Çekirdeği) yakıt tüketimi (kg)
(Table 13. Biomass(Olive Kernel) fuel consumption for the insulated building depending on the different window types and external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi										
Ekstrüde Polistiren (XPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	5186.580	4144.174	4013.874	3970.440	3883.573	3840.140	3622.972	3492.671	3405.804
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	4925.978	4144.174	4057.307	4013.874	3927.007	3927.007	3709.839	3666.405	3579.538
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	4839.111	4057.307	3970.440	3927.007	3840.140	3840.140	3666.405	3579.538	3492.671
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	4969.412	4187.608	4100.741	4013.874	3970.440	3970.440	3753.273	3709.839	3622.972
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	4882.545	4100.741	4013.874	3927.007	3883.573	3883.573	3666.405	3622.972	3536.105
	Alüminyum Doğrama	5273.447	4448.209	4404.776	4317.909	4274.475	4274.475	4057.307	4013.874	3927.007
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	4969.412	4187.608	4100.741	4013.874	3970.440	3970.440	3753.273	3709.839	3622.972
Ekspande Polistiren (EPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	4975.894	3933.489	3803.188	3759.755	3672.888	3629.454	3412.286	3281.986	3195.119
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	4715.293	3933.489	3846.622	3803.188	3716.321	3716.321	3499.153	3455.720	3368.853
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	4628.426	3846.622	3759.755	3716.321	3629.454	3629.454	3455.720	3368.853	3281.986
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	4758.726	3976.922	3890.055	3803.188	3759.755	3759.755	3542.587	3499.153	3412.286
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	4671.859	3890.055	3803.188	3716.321	3672.888	3672.888	3455.720	3412.286	3325.419
	Alüminyum Doğrama	5062.761	4237.524	4194.090	4107.223	4063.790	4063.790	3846.622	3803.188	3716.321
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	4758.727	3976.922	3890.055	3803.188	3759.755	3759.755	3542.587	3499.153	3412.286
Poliüretan Köpük (PUR)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	5176.555	4134.150	4003.849	3960.415	3873.548	3830.115	3612.947	3482.646	3395.779
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	4915.953	4134.150	4047.283	4003.849	3916.982	3916.982	3699.814	3656.381	3569.514
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	4829.086	4047.283	3960.415	3916.982	3830.115	3830.115	3656.381	3569.514	3482.646
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	4959.387	4177.583	4090.716	4003.849	3960.415	3960.415	3743.248	3699.814	3612.947
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	4872.520	4090.716	4003.849	3916.982	3873.548	3873.548	3656.381	3612.947	3526.080
	Alüminyum Doğrama	5263.422	4438.185	4394.751	4307.884	4264.450	4264.450	4047.283	4003.849	3916.982
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	4959.387	4177.583	4090.716	4003.849	3960.415	3960.415	3743.248	3699.814	3612.947



Tablo 14. Yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı biyokütle (Odun) yakıt tüketimi (kg)
(Table 14. Biomass (Wood) fuel consumption for the insulated building depending on the different window types and external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi										
Ekstrüde Polistiren (XPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	8377.767	6693.993	6483.521	6413.364	6273.050	6202.892	5852.106	5641.634	5501.320
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	7956.824	6693.993	6553.678	6483.521	6343.207	6343.207	5992.421	5922.263	5781.949
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	7816.509	6553.678	6413.364	6343.207	6202.892	6202.892	5922.263	5781.949	5641.634
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	8026.981	6764.150	6623.836	6483.521	6413.364	6413.364	6062.578	5992.421	5852.106
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	7886.666	6623.836	6483.521	6343.207	6273.050	6273.050	5922.263	5852.106	5711.792
	Alüminyum Doğrama	8518.081	7185.094	7114.936	6974.622	6904.465	6904.465	6553.678	6483.521	6343.207
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	8026.981	6764.150	6623.836	6483.521	6413.364	6413.364	6062.578	5992.421	5852.106
Ekspande Polistiren (EPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	8037.451	6353.677	6143.205	6073.048	5932.734	5862.576	5511.790	5301.319	5161.004
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	7616.508	6353.677	6213.363	6143.205	6002.891	6002.891	5652.105	5581.948	5441.633
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	7476.193	6213.363	6073.048	6002.891	5862.576	5862.576	5581.948	5441.633	5301.319
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	7686.665	6423.834	6283.520	6143.205	6073.048	6073.048	5722.262	5652.105	5511.790
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	7546.350	6283.520	6143.205	6002.891	5932.734	5932.734	5581.948	5511.790	5371.476
	Alüminyum Doğrama	8177.765	6844.778	6774.621	6634.306	6564.149	6564.149	6213.363	6143.205	6002.891
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	7686.665	6423.834	6283.520	6143.205	6073.048	6073.048	5722.262	5652.105	5511.790
Poliüretan Köpük (PUR)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplama-sız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	8361.574	6677.800	6467.328	6397.171	6256.857	6186.699	5835.913	5625.441	5485.127
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	7940.630	6677.800	6537.486	6467.328	6327.014	6327.014	5976.228	5906.070	5765.756
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	7800.316	6537.485	6397.171	6327.014	6186.699	6186.699	5906.070	5765.756	5625.441
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	8010.788	6747.957	6607.643	6467.328	6397.171	6397.171	6046.385	5976.228	5835.914
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	7870.473	6607.643	6467.328	6327.014	6256.857	6256.857	5906.070	5835.914	5695.599
	Alüminyum Doğrama	8501.888	7168.901	7098.743	6958.429	6888.272	6888.272	6537.486	6467.328	6327.014
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	8010.788	6747.957	6607.643	6467.328	6397.171	6397.171	6046.385	5976.228	5835.913



Tablo 15. Yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı soğutma enerji gereksinimi (GJ)

(Table 15. Cooling energy requirements for the insulated building depending on the different window types and external wall insulation materials)

		Dış Duvar Yalıtım Malzemesi								
		Ekstrüde Polistiren (XPS)								
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	15.076	12.046	11.667	11.541	11.289	11.162	10.531	10.152	9.900
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	14.319	12.046	11.794	11.667	11.415	11.415	10.784	10.657	10.405
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	14.066	11.794	11.541	11.415	11.162	11.162	10.657	10.405	10.152
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	14.445	12.172	11.920	11.667	11.541	11.541	10.910	10.784	10.531
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	14.192	11.920	11.667	11.415	11.289	11.289	10.657	10.531	10.278
	Alüminyum Doğrama	15.329	12.930	12.804	12.551	12.425	12.425	11.794	11.667	11.415
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	14.445	12.172	11.920	11.667	11.541	11.541	10.910	10.784	10.531
		Ekspande Polistiren (EPS)								
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	14.464	11.434	11.055	10.929	10.676	10.550	9.919	9.540	9.287
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	13.706	11.434	11.181	11.055	10.802	10.802	10.171	10.045	9.792
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	13.454	11.181	10.929	10.802	10.550	10.550	10.045	9.792	9.540
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	13.833	11.560	11.307	11.055	10.929	10.929	10.297	10.171	9.919
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	13.580	11.307	11.055	10.802	10.676	10.676	10.045	9.919	9.666
	Alüminyum Doğrama	14.716	12.317	12.191	11.939	11.812	11.812	11.181	11.055	10.802
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	13.833	11.560	11.307	11.055	10.929	10.929	10.297	10.171	9.919
		Poliüretan Köpük (PUR)								
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
Doğrama Tipi	Doğramasız	15.047	12.017	11.638	11.512	11.260	11.133	10.502	10.123	9.871
	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	14.290	12.017	11.765	11.638	11.386	11.386	10.755	10.628	10.376
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	14.037	11.765	11.512	11.386	11.133	11.133	10.628	10.376	10.123
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	14.416	12.143	11.891	11.638	11.512	11.512	10.881	10.755	10.502
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	14.163	11.891	11.638	11.386	11.260	11.260	10.628	10.502	10.250
	Alüminyum Doğrama	15.300	12.901	12.774	12.522	12.396	12.396	11.764	11.638	11.386
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	14.416	12.143	11.891	11.638	11.512	11.512	10.881	10.755	10.502

Tablo 16. Yalıtımlı bina için farklı pencere tiplerine ve dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı elektrik yakıt tüketimi (kWh)
(Table 16. Electric fuel consumption for the insulated building depending on the different window types and external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi										
Ekstrüde Polistiren (XPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	1675.130	1338.460	1296.377	1282.349	1254.293	1240.265	1170.126	1128.042	1099.986
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	1590.963	1338.460	1310.405	1296.377	1268.321	1268.321	1198.181	1184.153	1156.098
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	1562.907	1310.405	1282.349	1268.321	1240.265	1240.265	1184.153	1156.098	1128.042
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	1604.991	1352.488	1324.433	1296.377	1282.349	1282.349	1212.209	1198.181	1170.126
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	1576.935	1324.433	1296.377	1268.321	1254.293	1254.293	1184.153	1170.126	1142.070
	Alüminyum Doğrama	1703.186	1436.656	1422.628	1394.572	1380.544	1380.544	1310.405	1296.377	1268.321
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	1604.991	1352.488	1324.433	1296.377	1282.349	1282.349	1212.209	1198.181	1170.126
Ekspande Polistiren (EPS)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	1607.084	1270.414	1228.331	1214.303	1186.247	1172.219	1102.080	1059.996	1031.940
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	1522.917	1270.414	1242.359	1228.331	1200.275	1200.275	1130.135	1116.108	1088.052
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	1494.861	1242.359	1214.303	1200.275	1172.219	1172.219	1116.108	1088.052	1059.996
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	1536.945	1284.442	1256.387	1228.331	1214.303	1214.303	1144.163	1130.135	1102.080
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	1508.889	1256.387	1228.331	1200.275	1186.247	1186.247	1116.108	1102.080	1074.024
	Alüminyum Doğrama	1635.140	1368.610	1354.582	1326.526	1312.498	1312.498	1242.358	1228.331	1200.275
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	1536.945	1284.442	1256.387	1228.331	1214.303	1214.303	1144.163	1130.135	1102.080
Poliüretan Köpük (PUR)										
Pencere Tipi		Tek Camlı	Çift Camlı (Kaplamasız Cam)				Çift Camlı Low-e Kaplamalı Cam			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	Doğramasız	1671.892	1335.223	1293.139	1279.111	1251.055	1237.027	1166.888	1124.804	1096.748
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (Sert Ağaçlar)	1587.725	1335.223	1307.167	1293.139	1265.083	1265.083	1194.944	1180.916	1152.860
	Ahşap Doğrama (Yumuşak Ağaçlar)	1559.669	1307.167	1279.111	1265.083	1237.027	1237.027	1180.916	1152.860	1124.804
	Plastik Doğrama (2 Odacıklı)	1601.753	1349.251	1321.195	1293.139	1279.111	1279.111	1208.972	1194.944	1166.888
	Plastik Doğrama (3 Odacıklı)	1573.697	1321.195	1293.139	1265.083	1251.055	1251.055	1180.916	1166.888	1138.832
	Alüminyum Doğrama	1699.948	1433.418	1419.390	1391.334	1377.306	1377.306	1307.167	1293.139	1265.083
	Alüminyum Doğrama (Yalıtım Köprülü)	1601.753	1349.251	1321.195	1293.139	1279.111	1279.111	1208.972	1194.944	1166.888

Yalıtımsız binada, farklı pencere tipleri için 1924.522-2888.654 kg arasında jeotermal yakıt, 3728.035-5595.678 kg arasında biyokütle (zeytin çekirdeği) yakıt, 6021.812-9038.574 kg arasında biyokütle (odun) yakıt tüketileceği hesaplanmıştır. Isıtma enerjisi gereksinimi ise jeotermal yakıt, biyokütle (zeytin çekirdeği), biyokütle (odun) için 67.897- 101.912 GJ arasında olacağı hesaplanmıştır. Soğutma için 1204.058-1807.258 kWh arasında elektrik tüketilirken, 10.837-16.265 GJ arasında soğutma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Jeotermal, zeytin çekirdeği ile odun yakıtlar ve farklı pencere tipleri için binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 62.028-96.043 GJ arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 58.191-92.206 GJ arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 61.846-95.861 GJ arasında ısıtma enerji gereksinimi olacağı hesaplanmıştır.

Jeotermal yakıt ve farklı pencere tipleri için yalıtımlı binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 1758.177-2722.309 kg arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 1649.415-2613.547 kg arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 1753.002-2717.134 kg arasında yakıt tüketimi olacağı hesaplanmıştır. Biyokütle (zeytin çekirdeği) yakıt ve farklı pencere tipleri için binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 3405.804-5273.477 kg arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 3195.119-5062.761 kg arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 3395.779-5263.422 kg arasında yakıt tüketimi olacağı hesaplanmıştır. Biyokütle (odun) yakıt ve farklı pencere tipleri için binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 5501.320-8518.081 kg arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 5161.004-8177.765 kg arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 5485.127-8501.888 kg arasında yakıt tüketimi olacağı hesaplanmıştır.

Farklı pencere tipleri için yalıtımlı binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 9.900-15.329 GJ arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 9.287-14.716 GJ arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 9.871-15.300 GJ arasında soğutma enerji gereksinimi olacağı hesaplanmıştır. Elektrik tüketimi farklı pencere tipleri için binanın dış duvarında ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım uygulandığında 1099.986-1703.186 kWh arasında, ekspande polistiren (EPS) yalıtım uygulandığında 1031.940-1635.140 kWh arasında, poliüretan köpük (PUR) yalıtım uygulandığında 1096.748-1699.948 kWh arasında elektrik tüketimi olacağı hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Farklı pencere tiplerinde örnek binanın en yüksek yakıt tüketimi ve enerji ihtiyacı en yüksek ısı transfer katsayısına sahip alüminyum doğramalı tek camda, en düşük yakıt tüketimi ve enerji ihtiyacı ise en düşük ısı transfer katsayısına sahip çift camlı low-e kaplamalı doğramasız camda meydana gelmektedir. Yalıtımlı örnek binanın dış duvarında, en yüksek yakıt ve enerji tasarrufu sağlayan yalıtım malzemesi ekspande polistirendir (EPS). Ekspande polistiren (EPS) için 275.107 kg (para karşılığı 123.3 \$) kadar jeotermal, 532.916 kg (para karşılığı 76.7 \$) kadar biyokütle (zeytin çekirdeği) ve 860.808 kg (para karşılığı 172.2 \$) kadar biyokütle (odun) yakıt tüketimi 9.706 GJ kadar ısıtma enerjisi, 172.118 kWh (para karşılığı 29.9 \$) kadar elektrik tüketimi ve 1.55 GJ kadar soğutma enerji gereksinimi tasarrufu sağlamaktadır. İkinci olarak poliüretan köpük (PUR). Poliüretan köpük (PUR) için 171.520 kg (para karşılığı 76.9 \$) kadar jeotermal, 332.256 kg (para karşılığı 47.8 \$) kadar biyokütle (zeytin çekirdeği) ve 536.686 kg (para karşılığı 107.3 \$) kadar biyokütle

(odun) yakıt tüketimi 6.051 GJ kadar ısıtma enerjisi, 107.310 kWh (para karşılığı 18.7 \$) kadar elektrik tüketimi ve 0.966 GJ kadar soğutma enerji gereksinimi tasarrufu sağlamaktadır. En düşük ise ekstrüde polistiren dir (XPS). Ekstrüde Polistiren (XPS) için 166.345 kg (para karşılığı 74.6 \$) kadar jeotermal, 322.231 kg (para karşılığı 46.4 \$) kadar biyokütle (zeytin çekirdeği) ve 520.492 kg (para karşılığı 104.1 \$) kadar biyokütle (odun) yakıt tüketimi 5.869 GJ kadar ısıtma enerjisi, 104.072 kWh (para karşılığı 18.1 \$) kadar elektrik tüketimi ve 0.937 GJ kadar soğutma enerji gereksinimi tasarrufu sağlamaktadır. Tablo 17’de yalıtımlı bina için dış duvar yalıtım malzemelerine ve yakıt türlerine bağlı olarak ısıtma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi sonuçları Tablo 18’de ise yalıtımlı bina için dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı olarak soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi sonuçları verilmiştir.

Tablo 17. Yalıtımlı bina için dış duvar yalıtım malzemelerine ve yakıt türlerine bağlı olarak ısıtma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi sonuçları

(Table 17. Fuel consumption and heating energy requirements results for the insulated building depending on external wall insulation materials and fuel types)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi	Yakıt	Isıtma Yakıt Tüketimi (kg)	Isıtma Yakıt Tüketimi Tasarrufu (kg)	Isıtma Enerji Gereksinimi (GJ)	Isıtma Enerji Gereksinimi Tasarrufu (GJ)
Ekstrüde Polistiren (XPS)	Jeotermal	1758.177-2722.309	166.345	62.028-96.043	5.869
	Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)	3405.804-5273.477	322.231		
	Biyokütle (Odun)	5501.320-8518.081	520.492		
Ekspande Polistiren (EPS)	Jeotermal	1649.415-2613.547	275.107	58.191-92.206	9.706
	Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)	3195.119-5062.761	532.916		
	Biyokütle (Odun)	5161.004-8177.765	860.808		
Poliüretan Köpük (PUR)	Jeotermal	1753.002-2717.134	171.520	61.846-95.861	6.051
	Biyokütle (Zeytin Çekirdeği)	3395.779-5263.422	332.256		
	Biyokütle (Odun)	5485.127-8501.888	536.686		

Tablo 18. Yalıtımlı bina için dış duvar yalıtım malzemelerine bağlı olarak soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi sonuçları
(Table 18. Fuel consumption and cooling energy requirements results for the insulated building depending on external wall insulation materials)

Dış Duvar Yalıtım Malzemesi	Yakıt	Soğutma Yakıt Tüketimi (kWh)	Soğutma Yakıt Tüketimi Tasarrufu (kWh)	Soğutma Enerji Gereksinimi (GJ)	Soğutma Enerji Gereksinimi Tasarrufu (GJ)
Ekstrüde Polistiren (XPS)	Elektrik	1099.986-1703.186	104.072	9.900-15.329	0.937
Ekspande Polistiren (EPS)	Elektrik	1031.940-1635.140	172.118	9.287-14.716	1.550
Poliüretan Köpük (PUR)	Elektrik	1096.748-1699.948	107.310	9.871-15.300	0.966

SEMBOLLER (SYMBOLS)			
t	Sıcaklık (°C)	Alt İndis	Açıklama
IDG	Isıtma derece-gün	max	Maksimum
SDG	Soğutma derece-gün	min	Minimum
U	Isı transfer katsayısı (W/m ² .K)	b	Temel
A	Alan (m ²)	dd	Dış Duvar
I	Saatlik hava değişim oranı (1/h)	p	Pencere
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)	dö	Döşeme
C _p	Özgül Isı (J/kg.K)	tv	Tavan
x	Yalıtım kalınlığı (m)	k	Kapı
k	Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı (W/m.K)	ylt	Yalıtım
η	Isıtma sistemi verimi	H	Isıtma
H _u	Alt ısıl değer (J/kg)	C	Soğutma
Q	Enerji gereksinimi (J)	i	İç
M _f	Yakıt tüketimi (m ³ , kWh)	d	Dış
COP	Soğutma performans katsayısı	y	Yakıt
R	Isıl direnç (m ² .K/W)	e	Elektrik
C	Maliyet (TL)	t, w	Yalıtımsız Duvar
V	Hacim (m ³)	t	Toplam
PWF	Bugünkü değer faktörü	t, H	Isıtma, Toplam
i	Faiz oranı	t, C	Soğutma, Toplam
g	Enflasyon oranı		
r	Gerçek faiz oranı		
U _G	Isı Kaybı (W/K)		

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bektaş, B. ve Aksoy, U.T., (2005). Soğuk İklimlerdeki Binalarda Pencere Sistemlerinin Enerji Performansı, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. 17, 3, 499-508.
2. T22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Sonuç Raporu.
3. Kaynaklı, Ö., Kılıç, M. ve Yamankaradeniz, R., (2010). Isıtma ve Soğutma Süreci İçin Dış Duvar Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 65, 39-45.
4. Kaynaklı, Ö., Mutlu, M. ve Kılıç, M., (2012). Bina Duvarlarına Uygulanan Isıl Yalıtım Kalınlığının Enerji Maliyeti Odaklı Optimizasyonu, Tesisat Mühendisliği, 126, 48-54.
5. Şişman, N., (2005). Derece Gün Bölgeleri için Bina Dış Duvarlarında Farklı Yalıtım Malzemesi ve Duvar Yapı Bileşenleri

- Kullanılması Halinde Ekonomik Analiz Yöntemi ile En İyi Yalıtım Kalınlığının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
6. Dombaycı, Ö.A., (2009). Degree-days Maps of Turkey for Various Base Temperatures, *Energy*, 34, 11, 1807-1812.
 7. Lopez, F.J., Pinzi, S., Ruiz, J.J., Lopez, A., and Dorado, M.P., (2010). Economic Viability of the Use of Olive Tree Pruning as Fuel for Heating Systems in Public Institutions in South Spain, *Fuel*, 89, 7, 1386-1391.
 8. Hassouneh, K., Alshboul, A., and Al-Salaymeh, A., (2010). Influence of Windows on the Energy Balance of Apartment Buildings in Amman, *Energy Conversion and Management* 51, 8, 1583-1591.
 9. Yaşar, Y. and Kalfa, S.M., (2012). The Effects of Window Alternatives on Energy Efficiency and Building Economy in High-Rise Residential Buildings in Moderate to Humid Climates, *Energy Conversion and Management* 64, 170-181.
 10. Michopoulos, A., Skoulou, V., Voulgari, V., Tsikaloudaki, A., and Kyriakis, N.A., (2014). The Exploitation of Biomass for Building Space Heating in Greece: Energy, Environmental and Economic Considerations. *Energy Conversion and Management* 78, 276-285.
 11. Florides, G.A., Tassou, S.A., Kalogirou, S.A., and Wrobel, L.C., (2002). Measures Used to Lower Building Energy Consumption and Their Cost Effectiveness, *Applied Energy*, 73, 3-4, 299-328.
 12. Hepbasli, A., (2008). A Study on Estimating the Energetic and Exergetic Prices of Various Residential Energy Sources. *Energy and Buildings*, 40, 3, 308-315.
 13. Appelfeld, D., Hansen, C.S., Svendsen, S., (2010). Development of a Slim Window Frame Made of Glass Fibre Reinforced Polyester. *Energy and Buildings* 42, 10, 1918-1925.
 14. Gasparella, A., Pernigotto, G., Cappelletti, F., Romagnoni, P., and Baggio, P., (2011). Analysis and Modelling of Window and Glazing Systems Energy Performance for a Well Insulated Residential Building. *Energy and Buildings* 43, 4, 1030-1037.
 15. Borah, P., Singh, M.K., and Mahapatra, S., (2015). Estimation of Degree-days for Different Climatic Zones of North-East India. *Sustainable Cities and Society*, 14, 70-81.
 16. Alaidroos, A., and Krarti, M., (2015). Optimal Design of Residential Building Envelope Systems in The Kingdom of Saudi Arabia. *Energy and Buildings*, 86, 104-117.
 17. Kaynaklı, Ö., (2008). A study on Study Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness. *Renewable Energy*, 33, 6, 1164-1172.
 18. Aslan, A., (2010). Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Termoekonomik Verimliliğinin İncelenmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir.
 19. Ozkan, D.B. ve Onan, C., (2011). Optimization of Insulation Thickness for Different Glazing Areas in Buildings for Various Climatic Regions in Turkey. *Applied Energy*, 88, 4, 1331-1342.
 20. Ekici, B.B., Gülten, A.A., and Aksoy, U.T., (2012). 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.
 21. Uçar, A. and Balo, F., (2010). Determination of the Energy eavings and the Optimum Insulation Thickness in the four Different Insulated Exterior Walls. *Renewable Energy*, 35, 1, 88-94.



22. Tolun, M., (2010). Farklı Derece-Gün Bölgeleri için Yalıtım Probleminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
23. Kon O., (2014). Farklı Amaçlarla Kullanılan Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Teorik ve Uygulamalı Olarak Belirlenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
24. Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R., (2007). Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VII. Tesisat Mühendisliği Kongresi, 187-195, İzmir.
25. Çomaklı, K. and Yüksel, B., (2003). Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving. Applied Thermal Engineering, 23, 4, 473-479.
26. Bolattürk, A., (2006). Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. Applied Thermal Engineering, 26, 11-12, 1301-1309.
27. Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., and Pancar, Y., (2006). Optimization of Insulation for External Walls Using Different Energy-Sources. Applied Energy, 83, 9, 921-928.
28. Kaynaklı, Ö., (2011). Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls", Energies, 4, 6, 913-927.
29. Okka, O., (2000). Mühendislik Ekonomisi. Nobel Yayınları, 3.Baskı, Ankara.
30. TS 825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standardı.
31. TS 2164, Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları. Türk Standardı.
32. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Web Sitesi.
33. <http://www.tcmb.gov.tr>. (Erişim Tarihi: Mayıs 2014)
34. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Web Sitesi. <http://www.tuik.gov.tr>. (Erişim Tarihi: Mayıs 2014)
35. Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. Verileri.
36. Dombaycı, A., Bayrakçı, H.C. ve Özgür, A.E., (2009). Konutlarda Soğutma Enerjisi Tüketiminin Farklı Baz Sıcaklıkları İçin Derece Gün Yöntemiyle Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 3, 311-314.
37. Doğuş Pirina. <http://www.doguspirina.com.tr>. (Erişim: Kasım 2015)