



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Ağrı ilinde farklı yakıtlar ve duvar bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak enerji maliyetlerinin analizi

Analysis of energy costs using optimum insulation thicknesses for different fuels and wall components in Ağrı province

Yazar(lar) (Author(s)): Sinan ÜNVAR¹

ORCID¹: 0000-0002-9144-7638

To cite to this article: Ünvar S., “Ağrı ilinde farklı yakıtlar ve duvar bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak enerji maliyetlerinin analizi”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 1011-1023, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Ünvar S., “Ağrı ilinde farklı yakıtlar ve duvar bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak enerji maliyetlerinin analizi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 1011-1023, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1260040

Ağrı İlinde Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıkları Kullanılarak Enerji Maliyetlerinin Analizi

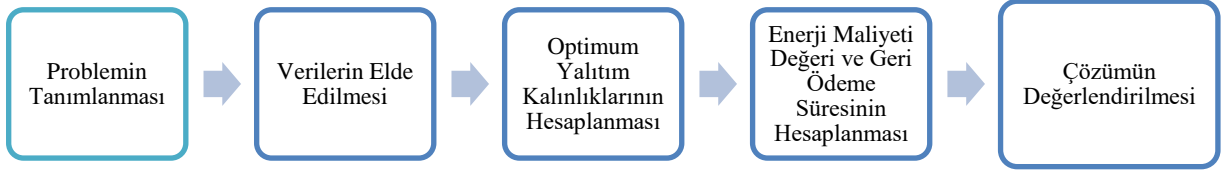
Analysis of Energy Costs Using Optimum Insulation Thicknesses for Different Fuels and Wall Components in Ağrı Province

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Optimum Yalıtım Kalınlığı / Optimum Insulation Thickness
- ❖ Enerji Maliyetleri Analizi / Energy Costs Analysis
- ❖ Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri / Different Fuels and Wall Components

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ağrı ili için farklı yakıt ve duvar bileşenleri kullanılarak seçilen yalıtım malzemesinin (EPS) tasarruf sağlayacağı duvar ve yakıt türü belirlenmiştir.



Şekil. Uygulama Akış Şeması / Figure. Application Flowchart

Amaç (Aim)

Enerji tasarrufu bakımından en uygun yakıt ve duvar türlerini belirlemek. / To determine the most suitable fuel and wall types in terms of energy saving.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Problem çözümünde literatürde kabul görmüş enerji miktarı-maliyeti, optimum yalıtım kalınlıkları hesabı gibi yöntemler kullanılmıştır. / In solving the problem, methods such as energy amount-cost, optimum insulation thickness calculation, which are accepted in the literature, were used.

Özgünlük (Originality)

Ele alınan problem gerçek fiyatlar, alt ısıl değerleri ve verimler kullanılarak yapılmış ve önceki çalışmalarla da tutarlılık göstermiştir. / The problem addressed was made using real prices, lower calorific values and efficiencies and was consistent with previous studies.

Bulgular (Findings)

Belirlenen enerji maliyetleri arasından yakıt ve duvar tipi için en ideal olan strateji belirlenmiştir. / Among the determined energy costs, the most ideal strategy for fuel and wall type was determined.

Sonuç (Conclusion)

Ağrı ilinde yalıtım bakımından en uygun enerji türünün duvar tipi ile ilişkisi ortaya koyulmuştur. / The relationship between the most appropriate type of energy in terms of insulation and the type of wall in the province of Ağrı has been revealed.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Ağrı İlinde Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıkları Kullanılarak Enerji Maliyetlerinin Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Sinan ÜNVAR*

Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 04.03.2023 ; Kabul/Accepted : 04.04.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 14.06.2023)

ÖZ

Isı yalıtımı konusu global ölçüde önem arz eden ve üzerinde sürekli çalışılan bir alanı oluşturmaktadır. Bu bağlamda, Ağrı ili için dört farklı duvar modeli (taş, tuğla, briket ve betonarme) ve beş farklı yakıt (kömür, doğalgaz, Likit Propan Gaz (LPG), fuel oil ve elektrik) çeşidi seçilerek optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım maliyeti, yakıt ve toplam maliyetler, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak Genleştirilmiş Polistiren (EPS) kullanılmıştır. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı, yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri elektrik enerjisinin kullanıldığı durumda betonarme duvar modeli için belirlenmiştir. Betonarme duvar modelinde elektrik enerjisi için optimum yalıtım kalınlığı 0.168 m, yakıt maliyeti 3,2392 \$/m² ve toplam maliyet 23,9826 \$/m² olarak tespit edilmiştir. Betonarme duvar modeli için optimum yalıtım kalınlığı, yakıt maliyeti ve toplam maliyet diğer duvar türlerine göre daha yüksek değerler gösterse de geri ödeme süresi bakımından en verimli duvar modeli olduğu belirlenmiştir. Kullanılan yakıt çeşitleri arasında geri ödeme süresi bakımından en verimli olanının elektrik, kömür ve doğal gazın kendilerini en geç amorti edebilen iki yakıt çeşidi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duvar modeli, ısı yalıtımı, optimum yalıtım kalınlığı, yakıt çeşidi, yalıtım malzemesi.

Analysis of Energy Costs Using Optimum Insulation Thicknesses for Different Fuels and Wall Components in Ağrı Province

ABSTRACT

The subject of thermal insulation constitutes an area that is of global importance and is constantly studied. In this context, by choosing four different wall models (stone, brick, briquette and reinforced concrete) and five different fuels (coal, natural gas, Liquid Propane Gas (LPG), fuel oil and electricity) for Ağrı province, optimum insulation thickness, insulation cost, fuel and total costs, payback period and annual energy gain values were calculated. Expanded Polystyrene (EPS) was used as insulation material in the study. The highest optimum insulation thickness, fuel cost and total cost values were determined for the reinforced concrete wall model in the case where electrical energy was used. In the reinforced concrete wall model, optimum insulation thickness for electrical energy was determined as 0.168m, fuel cost was 3,2392 \$/m² and total cost was 23,9826 \$/m². Although the optimum insulation thickness, fuel cost and total cost for the reinforced concrete wall model were higher than the other wall types, it has been determined that it was the most efficient wall model in terms of payback time. It has been determined that among the fuel types used, the most efficient in terms of payback period are electricity, coal and natural gas, the two fuel types that can amortize themselves at the latest.

Keywords: Fuel type, insulation material, optimum insulation thickness, thermal insulation, wall model.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun artması, sanayileşme olgusu, insanların ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve mevcut yaşam tarzlarının değişmesi neticesinde enerji konusu önemli bir konuya dönüşmüştür ve bu doğrultuda enerji talebi de her geçen gün artış göstermektedir [1, 2]. Günümüzde çevre sorunları, küresel ısınma ve enerji krizi, ülkeleri başta konut sektörü olmak üzere her sektörde enerji tüketimini azaltmaya zorlamaktadır [3].

Ülkemiz gelişen ekonomisi ve ilerleyen teknolojik altyapısı sayesinde enerji arz ve talebinin hızla arttığı ülkeler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte Türkiye'nin özellikle fosil yakıtlar konusunda dış tedarikçilere yüksek oranda bağımlı olması enerji alanındaki en önemli dezavantajlarından birini oluşturmaktadır. Ülkemiz bu dezavantajı yenilenebilir enerji konusundaki çeşitli çalışmalarla ve atılımlarla aşmaya çalışmaktadır [4].

Enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için mevcut enerji kaynakları çeşitlendirilerek enerji üretimi artırılabilir. Ancak enerji bilincini artırmak, oda ve su sıcaklıklarını optimize etmek, aydınlatma kontrolü gibi konularda

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : sunvar@agri.edu.tr

enerjiyi verimli kullanma durumları enerji tüketimini ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için en etkili çözümlerdir [5]. Öte yandan yalıtım, enerji tüketimini azaltmada en etkili yöntemlerden biridir [6]. Evlerin dış duvarı ve çatısı, evin içi ve dışı arasında bir arayüzdür. Etkili bir yalıtım için dış ortam koşulları ve iç ortam ısı konforu göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun bir yalıtım malzemesi seçilirse ve optimum yalıtım kalınlığı uygulanırsa enerji tüketimi en aza indirilebilir. Verimli ısı yalıtımının binalarda enerji tüketimini ve sıcaklık dalgalanmalarını azalttığı iyi bilinmektedir [7].

Çalışmamızın konusunu oluşturan yalıtım ve uygulamaları hakkında gerek dünya çapında gerekse ülkemizde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Al-Homoud [8], ısı yalıtımının temel ilkelerini genel bir bakış açısı ile değerlendirmiş ve en yaygın olarak kullanılan yapı yalıtım malzemelerini, performans özelliklerini ve uygulamalarını incelemiştir. Araştırmacı yapmış olduğu bu çalışmayla genel bina ısı yalıtım malzemelerinin performans özelliklerine, temel/ana özelliklerine ve bunların beton bina yapılarına uygulamalarına dikkat çekmiş, uygulamalı mühendislik alanı açısından kapsamlı ve pratik bir bakış açısı sunmuştur. Bolattürk [9], ülkemizin farklı iklim bölgelerinden 16 il seçmiş ve ısı yalıtımı konusunda hesaplamalar yapmıştır. Çalışmasında kömür, doğal gaz, fuel oil, LPG ve elektrik gibi beş farklı yakıt, yalıtım malzemesi olarak ise polistireni kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlar doğrultusunda şehre ve yakıt cinsine göre enerji tasarrufunun %22-79 arasında ve geri ödeme sürelerinin 1,3-4,5 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Yu ve ark. [10], Çin'in Şanghay, Changsha, Shaoguan ve Chengdu şehirlerini çalışma alanları olarak belirlemişler ve yalıtım malzemesinin seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi konularında araştırmalar yapmışlardır. Genişletilmiş polistiren, ekstrüde polistiren, köpüklü poliüretan, perlit ve köpüklü polivinil klorür dahil olmak üzere beş yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkları, güneş-hava soğutma ve ısıtma derece-gün analizi ve P1-P2 ekonomik modeli kullanılarak tipik bir konut duvarı için hesaplanmıştır. Ardından, yaşam döngüsü maliyet analizine dayalı olarak yaşam döngüsü toplam maliyetleri, yaşam döngüsü tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Farklı yönler, yüzey renkleri, yalıtım malzemeleri ve iklimler göz önüne alındığında, beş yalıtım malzemesinin optimum kalınlıklarının 0,053-0,236 m arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Genişletilmiş polistirenin en yüksek yaşam döngüsü tasarrufu ve en düşük geri ödeme süresi nedeniyle beş yalıtım malzemesi arasında en ekonomik yalıtım malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Ucar ve Balo [7], Türkiye'nin dört iklim bölgesinden dört şehir için (Mersin, Elazığ, Şanlıurfa, Bitlis) optimum dış duvar yalıtım kalınlığını, 10 yıllık bir kullanım ömrü boyunca enerji tasarrufunu ve geri ödeme sürelerini, duvarlara dışarıdan uygulanan beş değişik enerji türü ve dört ayrı yalıtım malzemesi için hesaplamışlardır. Duvar yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren, genişletilmiş polistiren, vinil siding ve taş yünü seçilmiştir. Net enerji

maliyeti tasarrufları P1-P2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, enerji maliyeti tasarruflarının şehre ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak 4,2 \$/m²-9,5 \$/m² arasında değiştiğini göstermiştir. En yüksek geri ödeme süresi değeri 2,25 yıl ile Mersin'de ısınma için enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanılarak bulunurken, en düşük değere Bitlis'te enerji kaynağı olarak LPG kullanılarak ulaşılmıştır. Dylewski ve Adamczyk [11], Polonya'da bina dış duvarlarının ısı yalıtımı nedeniyle ekonomik ve çevresel faydalar sağlaması konusunu araştırmışlardır. Sürdürülebilir kalkınma paradigması göz önünde bulundurularak, ekonomik ve çevresel kriter için iki kriterli bir optimizasyon ile mümkün olan en iyi ısı yalıtım versiyonları belirlenmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesine (Life Cycle Assessment-LCA) göre "olumlu" etkisi olan tek malzemenin selüloz yün olduğu tespit edilmiştir. Diğer malzemelerin, daha küçük veya daha büyük ölçüde olumsuz bir çevresel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Özel [12], dinamik ısı koşullar altında farklı yapı malzemelerine sahip bina duvarlarının ısı performansını ve optimum yalıtım kalınlığı konusunda çalışma yapmıştır. Araştırma, Elazığ'da güney cepheye bakan bir duvar kullanılarak ve Türkiye'nin iklim koşulları göz önüne alınarak yapılmıştır. Yalıtımsız ve yalıtımlı duvar yapıları için beton, briket, tuğla, blokbims ve otoklavlanmış gaz betondan yapılmış bina duvarlarının ısı performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada Genleşmiş Polistiren (EPS) ve Ekstrüde Polistiren (XPS) yalıtım malzemeleri olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, beş farklı yapı malzemesi ve iki farklı yalıtım malzemesine göre optimum yalıtım kalınlıklarının 2-8,2 cm arasında olduğunu, enerji tasarrufunun 2,78-102,16 \$/m² arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin 1,32 ile 10,33 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Ekici ve ark. [13], Türkiye'de genellikle bina yapımında kullanılan taş, tuğla ve beton gibi farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek için çalışma yapmışlardır. Analiz için Antalya (1. bölge), İstanbul (2. bölge), Elazığ (3. bölge) ve Kayseri (4. bölge) illeri seçilmiş ve her biri için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Fiberglas (cam elyafı), ekstrüde polistiren, genişletilmiş polistiren ve köpüklü poliüretan yalıtım malzemeleri olarak seçilmiştir. Hesaplamalar kömür, LPG, elektrik, fuel oil ve doğal gaz gibi beş farklı enerji türü kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, enerji tasarrufunun 0,038 \$/m²-250,415 \$/m² arasında olduğunu ve şehre, yapı tipine göre geri ödeme sürelerinin 0,714 ile 9,104 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Kaynaklı [14], yapmış olduğu çalışmada bir binada ısı yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının belirlenmesi ve bunun enerji tüketimine etkisi konusunda literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon prosedürleri ve çalışmalarda kullanılan ekonomik analiz yöntemleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca yalıtım kalınlığının optimizasyonu konusunda pratik bir uygulama yapılmış ve optimum değer üzerinde etkili olan parametreler araştırılmıştır. Yalıtım ve diğer bina tasarım parametrelerinin binalarda

enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tingley ve ark. [15], üç yalıtım malzemesinin (genleşmiş polistiren, fenolik köpük ve mineral yün) çevresel etkisini ölçmek ve karşılaştırmak için çalışma yapmışlardır. İncelenen on altı etki kategorisinin on dördünde geliştirilmiş polistirenin en düşük çevresel etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Tipik bir meskene uygulandığında, üç yalıtım malzemesinin tümü, binanın ısıtma gereksinimlerinin azalması nedeniyle otuz yıllık bir kullanım ömrü boyunca net bir pozitif fayda göstermiştir. Tek bir konut için doğru yalıtım malzemesi seçiminden bir miktar tasarrufların (örneğin, fenolik köpük yerine EPS kullanılıyorsa 115 kg CO₂eq) yapılabileceği belirlenmiştir. Kurekci [16], Türkiye'nin 81 il merkezinde ihtiyaç duyulan optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek için çalışma yapmıştır. Hesaplamalar dört çeşit yakıt (kömür, doğal gaz, fuel oil ve LPG) ve 5 farklı yalıtım malzemesi (ekstrüde polistiren, genleştirilmiş polistiren, taş yünü, cam yünü, poliüretan) bazında yapılmıştır. Yakıt ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarı, geri ödeme süresi değişimi seçilen 5 farklı il merkezi için hesaplanmıştır. Idchabani ve ark. [17], yaşam döngüsü maliyet analizine ve ulusal teknik ve ekonomik verilere dayanarak Fas'ın soğuk bölgelerindeki tipik bina duvarının ısı yalıtım kalınlığının optimizasyonuna yönelik çalışma yapmışlardır. Genleştirilmiş polistiren ve poliüretan için bu bölgelerde bina duvarının ısı yalıtımının kârlılığı derece-gün yöntemi ile gösterilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığının, seçilen yalıtım malzemesine, enerji kaynağına ve fiyatına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir. Kaydedilen maksimum optimum kalınlığın 16.8 cm ve minimum kalınlığın 3.4 cm olduğu tespit edilmiştir. Yang ve Tang [18], farklı dış duvar yalıtım malzemelerinin Almanya'da yeni inşa edilen bir apartmanın enerji tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar için Almanya'da yaygın olarak kullanılan mineral elyaf, poliüretan ve vakum yalıtım paneli olmak üzere üç tip yalıtım malzemesi seçilmiştir. Yalıtım malzemelerinin üretimi ve bina ısıtması için birincil enerji kullanımını netleştirmek için bir enerji analiz modeli oluşturulmuştur. Hesaplama sonuçları, yalıtım kalınlığı ile birlikte yalıtım malzemesi üretimi için enerji tüketiminin arttığını, yalıtım kalınlığı ile ise alan ısıtma için kullanılan enerji kullanımının azaldığını göstermiştir. D'Agostino ve ark. [19], bir vaka çalışması için dinamik koşullar altında (DesignBuilder yazılımı) enerji simülasyonlarını kullanarak dış ısı yalıtımının enerjik ve ekonomik etkisini değerlendirmişlerdir. Analiz, çeşitli şehirler (Palermo, Milano ve Kahire) ve farklı dahili termal yük değerleri (10, 20, 30 W/m²) için yapılmıştır. Mevcut bir ofis binası için dinamik koşullar altında optimum ısı yalıtım kalınlığı parametreleri değerlendirilmiştir. Milano için optimum yalıtım kalınlıklarının 8–10 cm (Rinsul=2.1–2.6 m²K/W) olduğu belirlenmiştir. Artan yalıtım kalınlıkları nedeniyle kışın enerji ihtiyacının her zaman azaldığı, yazın ise neredeyse sabit olduğu tespit edilmiştir. Palermo için, 2–4 cm'nin

üzerindeki yalıtım kalınlığının (Rinsul=0.53–1.1 m²K/W) avantajlı olmadığı saptanmıştır, çünkü artan kalınlıklar için ısıtma enerjisi talebi her zaman azalsa da, soğutma enerjisi ihtiyacının, küresel yıllık enerji talebinin artmasını sağlayacak şekilde yükseldiği belirlenmiştir. Kahire için yalıtımın her zaman dezavantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, sonuçlar, özellikle yüksek iç termal yükler için, sıcak iklimlerde binalar için aşırı yalıtım kalınlığından kaçınılması gerektiğini göstermiştir. Ozalp ve ark. [20], binaların tasarımında kullanılan farklı yapı malzemeleri (tuğla, bims, gazbeton ve briket) ve yalıtım malzemelerinin (XPS, EPS, taşyünü ve cam yünü) uygulanması durumunda oluşabilecek ısı kayıplarının sayısal olarak belirlenmesi yönünde çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar tarafından Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ve Türk Isı Yalıtım Standardında (TS 825) önerilen dış ve iç hava koşulları dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş/Türkiye'de bulunan bir model binanın koşulları, ısı yalıtımlı ve yalıtımsız olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. FEM kullanılarak elde edilen analizler sonucunda duvar yapı malzemesinin ısı kayıpları üzerindeki etkisinin yalıtım malzemesine göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yalıtımsız bina modeline ısı yalıtımı uygulamasının ardından, yalıtım uygulaması için gereken ilk yatırım değerinin geri ödeme süresinin ısıtma enerjisi ihtiyacı için kullanılan yakıtın cinsine göre 0,25 ile 1,74 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Binada briket duvar kullanılması durumunda ısıtma ihtiyacının, aylık yakıt tüketiminin ve emisyon miktarlarının diğer yapı malzemelerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Briket duvarı sırasıyla tuğla, bims ve gaz beton takip etmiştir. Roumi ve ark. [21], Tahran'ın 3. semtinde bulunan bir binada yeni yalıtımlar (taş yünü yerine) kullanıldığında gerçekleşen kayıp azaltım miktarı hesaplaması konusunda çalışma yapmışlardır. Genişletilmiş polistiren (EPS) ve içi boş silika nanoküreler (HSN) yeni yalıtım malzemeleri olarak değerlendirilmiştir. Duvar durumunu detaylı olarak gözlemek için mevcut ve yeni yalıtımlı duvarlar ANSYS FLUENT ile modellenmiştir. Sonuçlar, EPS ve HSN'nin incelenen apartmanda toplam enerji talebini sırasıyla %1,2 ve %5,1 oranında azalttığını göstermiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalarla EPS ve HSN kullanılarak CO₂ dış maliyetlerinin yılda 4376,846 \$ ve 15929,919 \$ azaltılabileceği tespit edilmiştir. Dombayci ve ark. [22], cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemesi için optimum ısı yalıtım kalınlığının belirlenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Türkiye'de en çok ısınma amaçlı olarak doğalgaz kullanıldığından, hesaplamada yakıt olarak seçilmiştir. İzolasyonun optimum kalınlığını hesaplamak için derece-gün sayısı ve toplam çevre faktörü kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı için cam yünü için ekserji kaybı, CO₂ emisyonu ve yakıt tüketimindeki azalma sırasıyla %75, %73 ve %71 olmuştur. Taş yünü için ise sırasıyla %35, %18 ve %43 olmuştur. Optimum kalınlık cam yünü için 0,40 m, taş yünü için 0,18 olarak hesaplanmıştır. Alsurakji ve ark. [23], Filistin'de bulunan

bir binanın dış duvarı için yalıtım kalınlığının optimizasyonu için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu nedenle, çalışma hazırlanırken bir yıl boyunca çalışma kapsamındaki şehirler için sıcaklık ve güneş radyasyonu dalgalanmaları gibi çevresel koşullar toplanmıştır. Filistin enerji enstitüsü, Filistin'i yedi iklim bölgesine ayırmıştır. Bu zonlar bu çalışmada incelenmiştir. Bu bölgelerdeki OWIT, yaşam döngüsü maliyet analizine dayalı olarak ve Genişletilmiş Polistiren (EPS) ve Poliüretan (PUR) olmak üzere iki farklı yalıtım türü için hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Kallioğlu ve ark. [24], Hindistan iklim coğrafyasındaki Jaipur şehri için yalıtım durumunun değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Soğutma derecesi gün değeri $T > 24$ °C kabul edilerek dış duvardaki enerji ihtiyacı ve ısı kayıpları belirlenmiştir. İki farklı yalıtım malzemesinin XPS ve EPS için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık getiri oranları sırasıyla 0,0383-0,0731, 2,35-1,79, 10,95-12,92, 46,84-37,25 olarak belirlenmiştir. Soğutma, yıllık tasarruf ve geri ödeme süreleri için optimum yalıtım kalınlık değerleri de hesaplanmıştır. Sonuç olarak, XPS malzemesinin optimum nokta kalınlığının, düşük ısı iletkenliği nedeniyle EPS malzemesine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. EPS malzeme için optimum yalıtım kalınlığının XPS'den daha yüksek olduğu, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresinin ise XPS malzemeye göre sırasıyla daha yüksek ve daha düşük olduğu saptanmıştır. Böylece EPS malzemesinin XPS'den daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Ağrı ili için 4 farklı duvar tipi modeli (taş, briket, tuğla ve betonarme) ve 5 farklı yakıt türü (doğal gaz, kömür, LPG, fuel oil ve elektrik) seçilerek yalıtım malzemelerinin maliyetleri, kalınlıkları, yakıt maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süreleri konularında hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren (EPS) kullanılmıştır

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada Ağrı ili için dört farklı duvar tipinde (Çizelge 1) ([25])'ten modifiye edilerek alınmıştır (taş, tuğla, briket ve beton) beş ayrı yakıt çeşidi (doğalgaz, kömür, LPG, fuel-oil ve elektrik) kullanılarak optimum

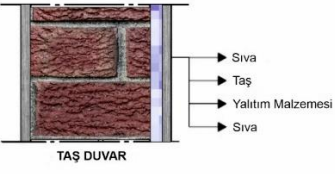
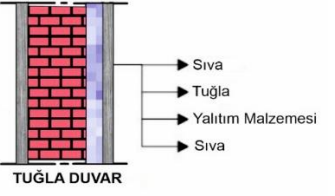
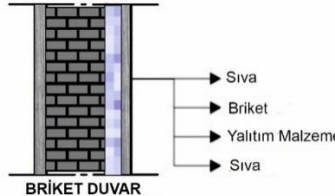
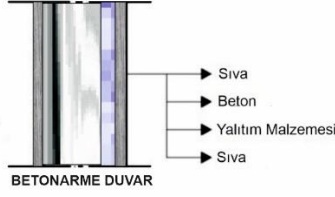
yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç ve geri ödeme süresi değerleri hesaplanmıştır. 4 farklı duvar tipinde enerji tüketim miktarları hesaplanmış ve sonuçlar duvar türü, enerji kazancı ve geri ödeme süresi gibi parametrelerle değerlendirilmiştir. Kullanılan nicel hesaplamalar sayesinde binalar bazında yalıtım kalınlığı bakımından en uygun değer bulunması ve en tasarruflu yakıt tipinin seçilmesi işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

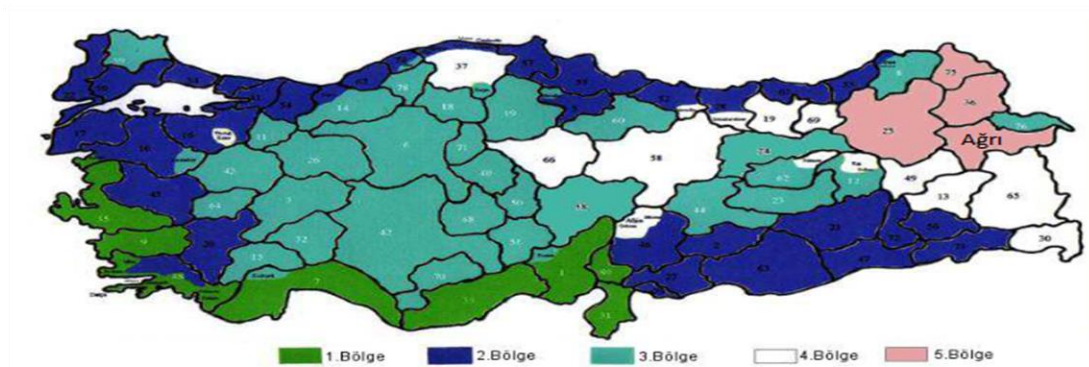
Binalardaki ısı kayıplarının genel olarak pencere açıklıklarından, tavan aralıklarından ve hava akımları etkisiyle oluştuğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir [20, 21, 22]. Bu çalışmada yapılan hesaplamalar sadece dış duvarlardan ısı kaybı olduğu kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan duvar türlerinin kalınlıkları (m), yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (k) ve duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direnci (Rduvt) değerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir [26].

Çalışmada yalıtım malzemesi olarak Genişletilmiş Polistiren (EPS) kullanılmıştır. Genişletilmiş Polistiren (EPS) çoğunlukla polistiren tanelerine eklemesi yapılan pentanın buharlaştırılması yoluyla elde edilmektedir. Bu işlem, 0,031 ila 0,037 W/mK arasında termal iletkenlik, 15-75 kg/m yoğunluk ve yaklaşık 1,25 KJ/kgK özgül ısı ile karakterize edilen beyaz, sert ve kapalı hücreli bir köpüğün oluşmasına yol açar; yoğunluk ne kadar yüksek olursa, yalıtım performansı o kadar yüksek olur. Araştırmalar, EPS'nin termal iletkenliğinin bir şekilde nemden etkilendiğini göstermiştir. Kuru EPS malzemelerinin bağıl nemin %90 olduğu bir iklim odasında 4 saat boyunca tutulması sonucunda, %1,4 ile %2,1 arasında bir termal iletkenlik artışı tespit edilmiştir. EPS, kapalı gözeneklilik ve düşük yoğunluk nedeniyle önemli bir akustik özellik göstermez. Malzeme kolayca yanıcı olduğundan ve yanması tehlikeli gazlar çıkardığından, üretim sürecinde genellikle geç alev alıcı bir malzeme eklenir. Genellikle performanslarını kaybetmeden kolayca işlenip kesilebilen paneller olarak ticarileştirilirler [27].

Yalıtım Standardı [26]'ya göre, Türkiye, Şekil 1'de gösterildiği gibi [28], ortalama sıcaklık derece-günler ile ilgili olarak beş iklim bölgesine ayrılmıştır. Birincisi en sıcak bölgedir ve şekilde görüldüğü gibi bölge sayısı arttıkça iklim özelliği sertleşir. Çalışma bölgesini oluşturan Ağrı ili 5. bölgededir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan duvar türleri ve özellikleri (Types of walls used in the study and their features)

Duvar Türü	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)	R _{duvt} (m ² K/W)	
Taş Duvar Modeli					
	İç sıva (çimento harçlı)	0,02	1,60	0,01	1,10
	Taş				
	Dış sıva (çimento harçlı)	0,50	0,550	0,91	
	R _i			0,13	
	R _{dış}	0,02	1,60	0,01	
Tuğla Duvar Modeli					
	İç sıva (çimento harçlı)	0,02	1,60	0,01	0,62
	Tuğla				
	Dış sıva (çimento harçlı)	0,19	0,45	0,42	
	R _i			0,13	
	R _{dış}	0,02	1,6	0,01	
Briket Duvar Modeli					
	İç sıva (çimento harçlı)	0,02	1,60	0,01	0,67
	Briket				
	Dış sıva (çimento harçlı)	0,20	0,42	0,48	
	R _i			0,13	
	R _{dış}	0,02	1,60	0,01	
Betonarme Duvar Modeli					
	İç sıva (çimento harçlı)	0,02	1,6	0,01	0,26
	Betonarme	0,14	2,2	0,06	
	Dış sıva (çimento harçlı)				
	R _i	0,02	1,6	0,01	
	R _{dış}			0,13	



Şekil 1. TS 825 Standardı bazında Türkiye'nin derece-gün bölgeleri ve çalışma ili (Degree-day regions of Turkey on the basis of TS 825 Standard and study province)

Çalışma için seçilen Ağrı ilinin yükseklik, enlem, boylam, derece-gün sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma bölgesinin seçilen bazı özellikleri (Some selected features of the study area)

Bölge	Şehir	Yükseklik (m)	Boylam (°)	Enlem (°)	Derece-günler (°C-günler)
5. Bölge	Ağrı	1630	43,0497	39,7189	4423

Yıllık Enerji Maliyeti Değeri ve Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması

Binalarda ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarının ($E_{yıl}$) hesaplanması için kullanılan denklem aşağıda verilmektedir [29];

$$E_{yıl} = \frac{86400 \text{ DGS}}{\left(R_{duvt} + \frac{x}{k}\right) \eta} \quad (1)$$

Burada; R_{duvt} : duvar katmanlarının ısı iletim direnç değerini (ısı yalıtımsız durumda), x : kalınlığını (yalıtımda kullanılan materyalin), k : ısı iletim katsayısını (yalıtımda kullanılan materyalin), x/k : ısı iletim direncini (yalıtımda kullanılan materyalin), DGS: ilin derece-gün sayısını temsil etmektedir.

Birim alanı ısıtmak için kullanılan enerji maliyetinin ($C_{yıl}$) hesaplanması için kullanılan denklem aşağıda verilmektedir [29];

$$C_{yıl} = \frac{86400 \text{ DGS } C_{ykt}}{\left(R_{duvt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} \quad (2)$$

Burada; C_{ykt} : yakıtın \$/kg olarak birim fiyatını, H_u : yakıtın J/kg olarak alt ısı değerini ifade etmektedir.

Isıtma ve diğer maliyet değerleri, gelecek değer faktörü şeklinde adlandırılan bir ölçüyle ve belirli bir zaman aralığı baz alınarak hesaplanmaktadır. Gelecek değer faktörü (GDF); faiz (i) ve enflasyon (g) parametreleriyle ilişkili olarak değişiklik gösterir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [29];

$i > g$ olması durumunda,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (3)$$

$i < g$ olması durumunda,

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (4)$$

Gelecek değer faktörü ise,

$$\text{GDF} = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (5)$$

Formülde, “N” yıl bazında zamanı göstermektedir ve bu çalışmada $N=10$ yıl olacak şekilde alınmıştır.

$i = g$ olması durumunda,

$$\text{GDF} = \frac{1}{1+i} \quad (6)$$

Yalıtım maliyeti ($C_{yıl}$) ise;

$$C_{yıl} = C_{mlz} \cdot x \quad (7)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Burada, C_{mlz} : yalıtım malzemesinin \$/m³ olarak birim fiyatını, x : yalıtım malzemesinin “m” cinsinden kalınlığını vermektedir.

Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti [29];

$$C_t = C_{yıl} \text{ GDF} + C_{mlz} \cdot x \quad (8)$$

veya;

$$C_t = \frac{86400 \text{ DGS } C_{ykt} \text{ GDF}}{\left(R_{duvt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} + C_{mlz} \cdot x \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (9) nolu formülden anlaşılacağı üzere, yalıtım ve yıllık enerji maliyetlerinin toplamı, toplam ısıtma maliyetini oluşturur. Toplam maliyeti minimum değere indiren optimum yalıtım kalınlığı [29];

$$x_{op} = 293.94 \sqrt{\frac{(2) \text{ DGS } C_{ykt} \text{ GDF } k}{H_u C_{mlz} \eta}} - k R_{duvt} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{C_{yıl}}{C_{yıl, yalıtımsız} - C_{yıl, yalıtımlı}} \quad (11)$$

Geri ödeme süresi; (11) nolu formülden anlaşılacağı üzere, yalıtım maliyetinin, yıllık bazda elde edilen kazanç miktarına bölünmesi neticesinde hesaplanmaktadır. Yıllık kazanç değeri ise, binaya herhangi bir yalıtım işlemi uygulanmadığı varsayılarak hesaplanan yıllık enerji maliyetinden yalıtım uygulanan binanın yıllık enerji maliyeti değerinin çıkarılmasıyla hesaplanır [29];

Hesaplamalarda kullanılan yakıt türleri, tipleri, dolar bazında fiyatları, yakıtların alt ısı değerleri ve ısıtma sistemlerinin verimleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda kullanılan tüm parametreler de Çizelge 4’te verilmektedir [31, 32, 33, 34].

Çizelge 3. Yakıtların fiyatları, tipleri, alt ısı değerleri ve ısıtma sistemlerinin verimleri (Fuel prices, types, lower calorific values and efficiency of heating systems) [30]

Yakıt Türleri	Tip	Fiyat	Alt Isıl Değerler	Verim (η)
Doğal gaz	Konut	0,2846 \$ / m ³	34,541×10 ⁶ J / m ³	107%
Kömür	İthal	0,4087 \$ / kg	29,307×10 ⁶ J / kg	65%
Fuel oil	Akaryakıt	1,125 \$ / kg	41,344×10 ⁶ J / kg	80%
LPG	12 kg tüp	1,376 \$ / kg	46,054×10 ⁶ J / kg	90%
Elektrik	kWh	0,152 \$ / kWh	3,600×10 ⁶ J / kWh	99%

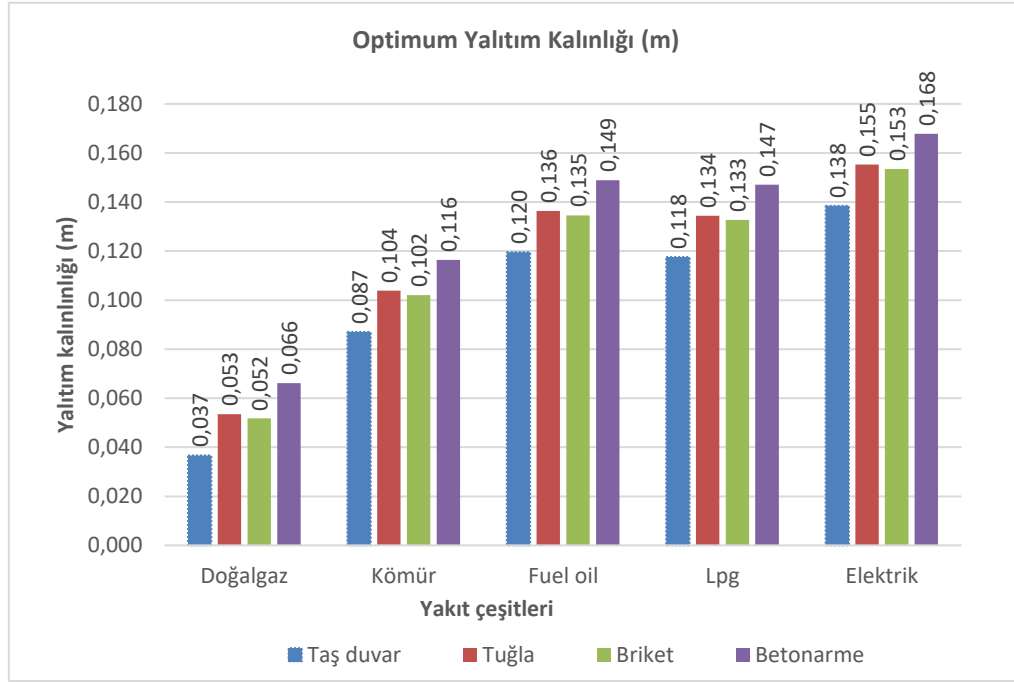
Çizelge 4. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (Parameters used in calculations)

Parametre	Değer
Derece gün sayısı (°C)	Çizelge 2'ye bakınız.
Yakıtlar	Çizelge 3'e bakınız.
Duvarlar	
<i>Taş</i>	
İletkenlik, k	0,550 W/mK
R _{duvt}	1,10 m ² K/W
<i>Tuğla</i>	
İletkenlik, k	0,45 W /mK
R _{duvt}	0,62 m ² K/W
<i>Briket</i>	
İletkenlik, k	0,42 W/mK
R _{duvt}	0,67 m ² K/W
<i>Betonarme</i>	
İletkenlik, k	2,20 W/mK
R _{duvt}	0,26 m ² K/W
<i>Yalıtım</i>	
EPS (Genleştirilmiş Polistiren)	
İletkenlik, k	0,035 W/mK
Fiyat, C _{mız}	86,13 \$/m ³
GDF	1,5563
Faiz oranı, i	%0,12
Enflasyon oranı, d	%0,8345
Ömür, x	10 yıl

3. BULGULAR (FINDINGS)

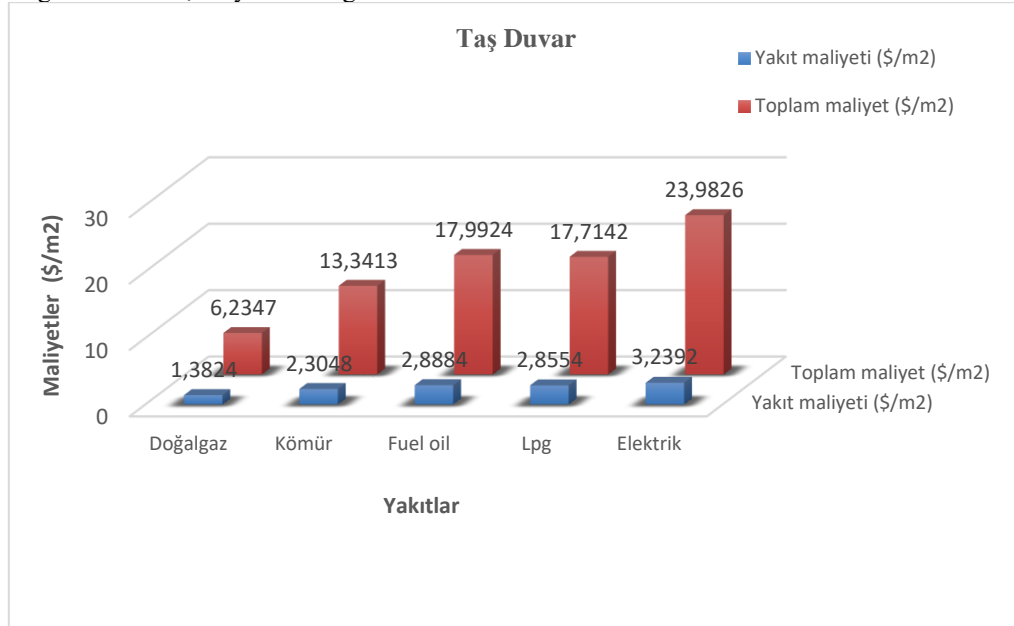
Duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulanması neticesinde ilk önce yalıtım maliyeti hesaplanmıştır. Bu

doğrultuda hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, yakıt maliyeti ve toplam maliyet hesaplamaları her duvar türü için ayrı ayrı gösterilmiştir.



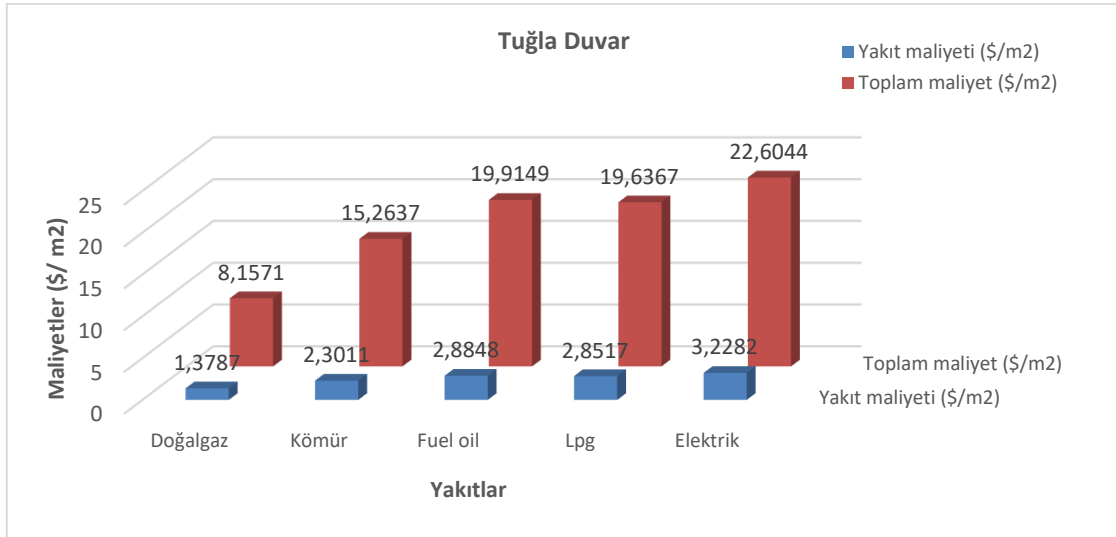
Şekil 2. Yakıt ve duvar türlerine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları (Optimum insulation thicknesses calculated according to fuel and wall types)

Şekil 2’de tüm yakıt çeşitlerinde en düşük optimum yalıtım kalınlığında taş duvar modelinde (0,037m-0,138m) aralığında olurken, en yüksek değer betonarme duvar modelinde (0,066m -0,168m) aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Taş duvar modeli için hesaplanan yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri (Optimum insulation thicknesses calculated for the stone wall model)

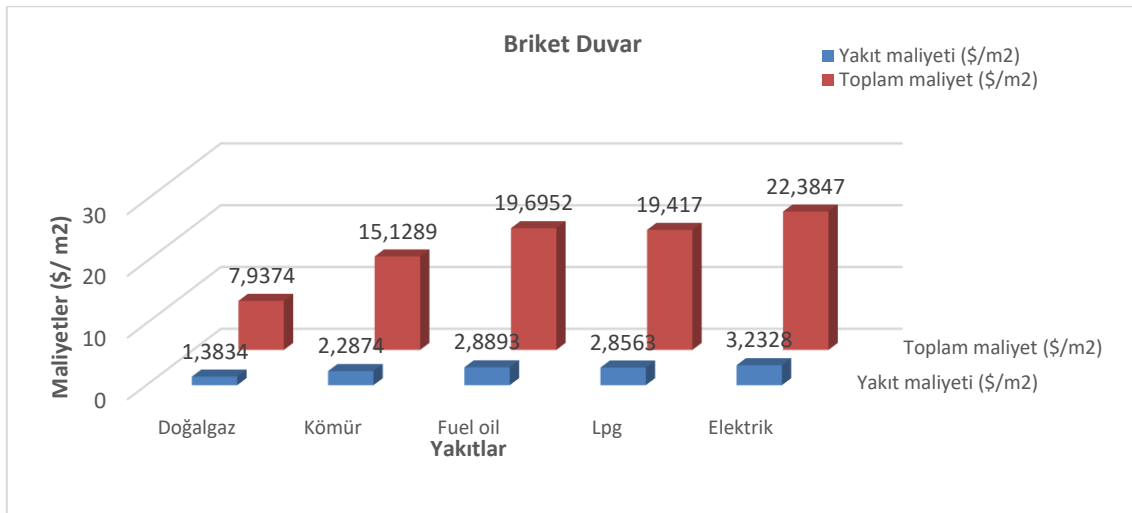
Taş duvar modeli için yapılan yakıt maliyetinin en düşük değeri 1,3824 \$/m² doğalgaz yakıtında iken elektrik yakıtında 3,2392 \$/m² en yüksek değer olarak belirlenmiştir. Toplam maliyet hesabında da aynı şekilde en düşük doğalgaz yakıtında, en yüksek değer ise elektrik yakıtında olduğu Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 4. Tuğla duvar modeli için hesaplanan yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri (Fuel cost and total cost values calculated for the brick wall model)

Şekil 4’de Tuğla duvar modeli için yapılan yakıt maliyetinin en düşük değeri 1,3787 \$/m² doğalgaz yakıtında iken elektrik yakıtında 3,2282 \$/m² en yüksek

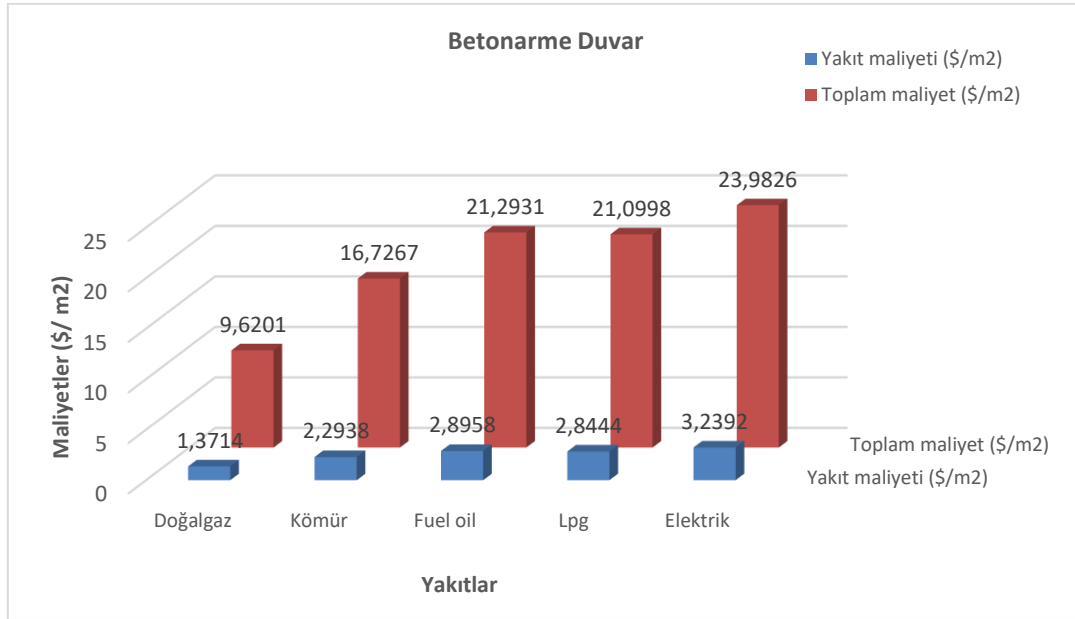
değer olarak belirlenmiştir. Toplam maliyet hesabında da aynı şekilde en düşük doğalgaz yakıtında, en yüksek değer ise elektrik yakıtında olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Briket duvar modeli için hesaplanan yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri (Fuel cost and total cost values calculated for the briquette wall model)

Briket duvar modeli için yapılan yakıt maliyetinin en düşük değeri Şekil 5’deki veriler doğrultusunda 1,3834 \$/m² doğalgaz yakıtında iken elektrik yakıtında 3,2328

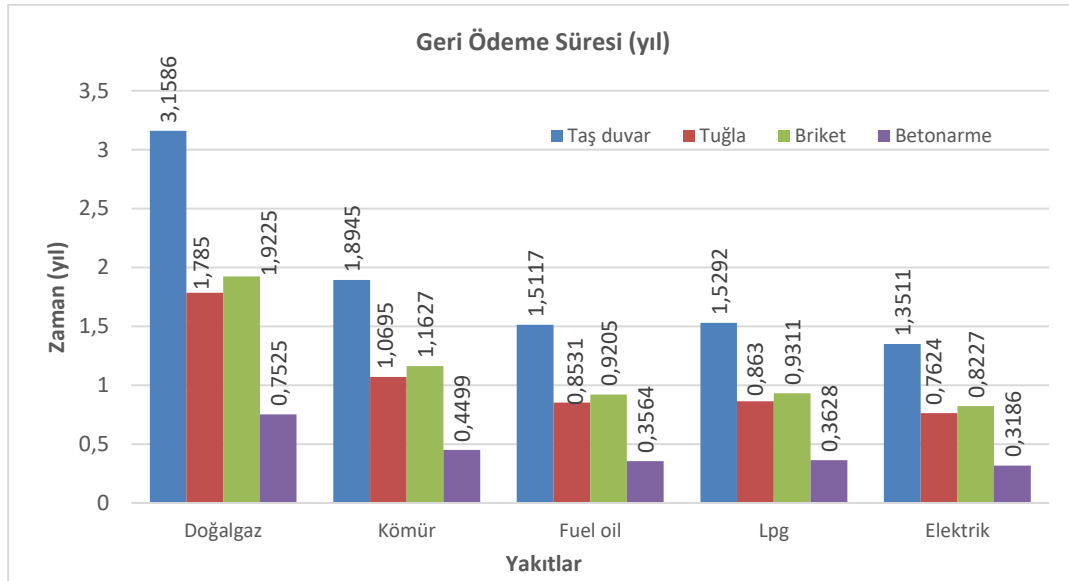
\$/m² en yüksek değer olarak belirlenmiştir. Toplam maliyet hesabında da aynı şekilde en düşük doğalgaz yakıtında, en yüksek değer ise elektrik yakıtında olduğu Şekil 5’te net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Betonarme duvar modeli için hesaplanan yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri (Fuel cost and total cost values calculated for the reinforced concrete wall model)

Betonarme duvar modeli için yapılan en düşük yakıt maliyetinin 1,3714 \$/m² olurken yakıt olarak hesaplanan elektrikte ise 3,2392 \$/m² değeri Şekil 6'da

gösterilmektedir. Toplam maliyet hesabında da aynı şekilde Şekil 6'da en düşük değer doğalgaz yakıtında, en yüksek değer ise elektrik yakıtında olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Yakıt ve duvar türlerine göre geri ödeme süreleri (Payback periods by fuel and wall types)

Optimum yalıtım kalınlıkları uygulandığında duvar ve yakıt türlerine göre elde edilen geri ödeme sürelerine ilişkin grafik Şekil 7'de gösterilmektedir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı değerinin 0,3186 m değerinde

betonarme duvar modelinde elektrik yakıtı kullanılması durumunda hesaplanmıştır. En yüksek değer ise Taş duvar modelinde yakıt olarak doğalgaza göre hesabında 3,1586 m olduğu Şekil 7'de açıkça görülmektedir

Çizelge 5. EPS için farklı yakıt türlerinde optimum yalıtım kalınlığı (m) ve yıllık enerji kazancı (%) (Optimum insulation thickness (m) and annual energy gain (%) for EPS in different fuel types)

Yalıtım malzemesi		EPS			
		Taş Duvar		Tuğla	
Yakıt Tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık enerj kazancı (%)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık enerj kazancı (%)	
Doğal gaz	0,036	48,32	0,053	70,95	
Kömür	0,086	69,07	0,103	82,59	
Fuel-oil	0,119	75,55	0,136	86,23	
LPG	0,117	75,24	0,134	86,06	
Elektrik	0,138	78,18	0,155	87,71	

Yalıtım malzemesi		EPS			
		Briket Duvar		Betonarme Duvar	
Yakıt Tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık enerj kazancı (%)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık enerj kazancı (%)	
Doğal gaz	0,051	68,50	0,066	87,88	
Kömür	0,102	81,30	0,116	92,72	
Fuel-oil	0,134	85,10	0,148	94,20	
LPG	0,132	84,91	0,147	94,17	
Elektrik	0,153	86,71	0,167	94,83	

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Yukarıdaki grafikler (Şekil 2,3,4,5 ve 6) değerlendirildiğinde optimum yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt maliyetinin ve toplam maliyetin arttığı görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı kullanılan enerjinin maliyeti, alt ısı değeri ve verimliliğine bağlı olarak değişiklik gösteren bir parametredir. Bu açıdan bakıldığında optimum yalıtım kalınlığı en fazla elektrik enerjisinin kullanıldığı durumlarda ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak Ağrı ilinde elektrik enerjisi ile yapılacak olan ısıtımaların hem yalıtım kalınlığını artıracakları hem de maliyet bakımından dezavantajlı bir durum oluşturacakları tespit edilmiştir. Özellikle betonarme tip duvar modelinde optimum yalıtım kalınlığı en yüksek seviyeye çıkmış ve maliyet oldukça yükselmiştir. Doğal gaz kullanılan briket tip duvar modeline ise yalıtım uygulanması halinde optimum yalıtım kalınlığı ve maliyetler diğer tip duvar modellerine göre daha avantajlı çıkmıştır. Geri ödeme süreleri ve verimlilik hesapları da yapıldığında bu durumun avantaj sağladığı tespit edilmiştir.

Şekil 7'de duvar tipleri açısından geri ödeme süresi en kısa olanın betonarme tip duvar tipi olduğu görülmektedir. Geri ödeme süresi açısından yakıt çeşitleri arasında en verimli olanın elektrik olduğu belirlenmiştir.

Hesaplamalar neticesinde bulunan optimum yalıtım kalınlığı değerlerine bakıldığında, doğal gaz ve kömürün diğer yakıt çeşitlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Doğal gaz ve kömür duvarlara uygulandığı zaman minimum yalıtım kalınlığı değerleri bulunmuştur. Genel manada bu durumun hem yalıtım maliyetini düşürdüğünü, hem de toplam maliyeti düşürdüğü söylenebilir. Geri ödeme süreleri bakımından değerlendirildiklerinde ise, kömür ve doğal gazın

kendilerini en geç amorti edebilen iki yakıt çeşidi olduğu görülmektedir.

EPS yalıtım malzemesi kullanılarak binalarda ısı yalıtımı gerçekleştirildiğinde yıllık enerji kazancı (%) bakımından en avantajlı durumun betonarme duvar tipinde elektrik enerjisi kullanıldığında elde edileceği tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu avantajlı durumun yine betonarme duvar tipindeki diğer yakıt çeşitlerinin (Fuel-oil, LPG, kömür ve doğal gaz) kullanılmasıyla sürdürülebileceği de yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Briket duvar ve taş duvar tiplerinde doğal gazın kullanılması sonucunda yıllık enerji kazancının oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Türkiye'de binalardan kaynaklanan ısı kayıpları, enerji kaybının temel kaynaklarından biridir ve bu nedenle binalarda uygun yalıtım malzemesi ve optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu çalışmada Ağrı ili için 4 farklı duvar tipi modeli (taş, briket, tuğla ve betonarme), 5 değişik yakıt çeşidi (doğal gaz, kömür, LPG, fuel oil ve elektrik) ve EPS yalıtım malzemesi seçilerek yalıtım malzemelerinin maliyetleri, kalınlıkları, yakıt maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süreleri konularında hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, yakıt maliyeti ve toplam maliyet parametreleri her duvar türü için farklı sonuçlar vermiştir. Tüm duvar modelleri için farklı yakıt türleri bakımından yapılan hesaplamalarda elektrik enerjisinin kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığının diğer enerji türlerinin kullanılması durumuna göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Taş duvar modeli için elektrik enerjisinin kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0,138 m, yakıt maliyeti 3,2319

$\$/m^2$ ve toplam maliyet 20,6820 $\$/m^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu duvar modelinde doğal gaz 3,2469 yıl, kömür 1,9470 yıl, fuel-oil 1,5535 yıl, LPG 1,5292 yıl ve elektrik 1,3511 yıl geri ödeme süresi değerleri vermişlerdir. Tuğla duvar tipinde optimum yalıtım kalınlığı elektrik enerjisi kullanılması durumunda 0,155 m olarak hesaplanmıştır. Yakıt maliyeti 3,2282 $\$/m^2$ ve toplam maliyet 22,6044 $\$/m^2$ olarak belirlenmiştir. Tuğla duvar modelinde doğal gaz 1,7850 yıl, kömür 1,0695 yıl, fuel-oil 0,8531 yıl, LPG 0,8630 yıl ve elektrik 0,7624 yıl geri ödeme süresi değerleri vermişlerdir. Briket duvar modelinde elektrik enerjisi kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0,153 m olarak hesaplanmıştır. Yakıt maliyeti 3,2328 $\$/m^2$ ve toplam maliyet 22,3847 $\$/m^2$ olarak belirlenmiştir. Briket duvar modelinde doğal gaz 1,9225 yıl, kömür 1,1627 yıl, fuel-oil 0,9205 yıl, LPG 0,9311 yıl ve elektrik 0,8227 yıl geri ödeme süresi değerleri vermişlerdir. Betonarme duvar modelinde elektrik enerjisi için optimum yalıtım kalınlığı 0,167 m olarak hesaplanmıştır. Yakıt maliyeti 3,2392 $\$/m^2$ ve toplam maliyet 23,9826 $\$/m^2$ olarak belirlenmiştir. Betonarme duvar modelinde doğal gaz için 0,7525 yıl, kömür için 0,4496 yıl, fuel-oil için 0,3564 yıl, LPG için 0,3628 yıl ve elektrik için 0,3186 yıl geri ödeme süresi değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, tüm duvar modellerinde yıllık enerji kazancı (%) bakımından en verimli olan enerji türünün elektrik enerjisi olduğu tespit edilmiştir. Elektrik enerjisi kullanılması durumunda taş duvar için %78,18, tuğla duvar için %87,71, briket duvar için %86,71 ve betonarme duvar için %94,83 değerlerinde yıllık enerji kazançları olacağı belirlenmiştir. Betonarme duvar modeli için optimum yalıtım kalınlığı, yakıt maliyeti ve toplam maliyet diğer duvar türlerine göre daha yüksek değerler gösterse de geri ödeme süresi bakımından en verimli duvar modeli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca betonarme duvar modelinin tüm enerji kaynakları için diğer duvar türlerine göre yıllık enerji kazancının da daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Geri ödeme süresi bakımından diğer duvar tiplerine kıyasla daha uzun bir zaman aralığına sahip olan ve bu nedenle dezavantaj oluşturan duvar tipinin ise Taş duvar modeli olduğu saptanmıştır. Yine geri ödeme süreleri göz önüne alındığında en verimli olan yakıt çeşidinin elektrik ve verimsiz olanın ise doğal gaz olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında Ağrı ilinde betonarme duvar modelinde elektrik enerjisinin kullanılması durumunda yalıtım maliyetlerinin düşeceği ve ekonomik anlamda oldukça avantaj sağlanacağı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma Türkiye'nin en soğuk ili olan Ağrı için bina yalıtım durumları bakımından karşılaştırmalı değerleri sunmaktadır. Bu çalışmanın diğer tüm yalıtım çalışmaları gibi ülkemizin diğer yerleşim bölgeleri için örnek bir araştırma olacağı öngörülmektedir. Daha etkili çalışmaların yapılabilmesi için şunlar önerilmektedir;

- Farklı yerleşim bölgeleri, duvar modelleri ve yakıt çeşitleri seçilerek hesaplamalar yapılabilir ve bölgelerin yalıtım durumları ortaya koyulabilir.

İklima bağlı olarak seçilecek doğru yalıtım malzemesi daha doğru sonuçların alınmasını sağlayabilir.

Ekonomik anlamda fayda sağlanabilmesi için yeni yalıtım malzemelerinin üretilmesi konusu tartışılmalı ve çevre dostu olan yenilenebilir enerjinin ısıtma amacıyla kullanılma durumu gündeme getirilmelidir.

Ağrı ili baz alınarak yapılan bu örnek çalışma farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak farklı yerleşim yerleri için de gerçekleştirilebilir. Bu sayede binalarda ısı yalıtımları uygulanarak enerji kayıplarının önüne geçilebilir ve maddi anlamda kazançlar sağlanabilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Sinan ÜNVAR: Verilerin araştırılması, hesaplamaların yapılarak sonuçların analiz edilmesi ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dombaycı Ö.A., Atalay Ö., Acar Ş.G., and Ulu E.Y., "Thermoeconomic method for determination of optimum insulation thickness of external walls for the houses case study for Turkey", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22: 1-8, (2017).
- [2] Guven S., "Calculation of Optimum Insulation Thickness of External Walls in Residential Buildings by Using Exergetic Life Cycle Cost Assessment Method Case Study for Turkey", *Sustainable Energy*, 38(6): 13232, (2019).
- [3] Baniassadi A., Sajadi B., Amidpour M., and Noori N., "Economic optimization of PCM insulation layer thickness in residential buildings", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14: 92-99, (2016).
- [4] Kavaz İ., Türkiye'nin Enerjisi, Politikalar ve Stratejiler, *Seta Kitapları*, ISBN: 978-625-7712-57-6, 1-23, (2022).
- [5] Dogan H. and Yilankiran N., "The potential of energy efficiency and projection of Turkey", *Journal of Institute of Science of University of Gazi*, 3: 375-384, (2016).
- [6] Dombaycı Ö.A., Gölcü M., and Pancar Y., "Optimization of Insulation Thickness for External Walls Using Different Energy-Sources", *Applied Energy*, 83: 921-928, (2006).
- [7] Ucar A. and Balo F., "Determination of the Energy Savings and the Optimum Insulation Thickness in the Four Different Insulated Exterior Walls", *Renewable Energy*, 35(1): 88-94, (2010).
- [8] Al-Homoud M.S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal

- insulation materials”, *Building and Environment*, 40: 353-366, (2005).
- [9] Bolatturk A., “Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 11: 1301-1309, (2006).
- [10] Yu J., Yang C., Tian L., and Liao D., “A Study on Optimum Insulation Thickness of External Walls in Hot Summer and Cold Winter Zone of China”, *Applied Energy*, 86: 2520-2529, (2009).
- [11] Dylewski R., and Adamczyk J., “Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls”, *Building and Environment*, 46: 2615-2623, (2011).
- [12] Ozel M., “Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls with Different Structure Materials”, *Applied Thermal Energy*, 31(17-18): 3854-3863, (2011).
- [13] Ekici B.B., Gulten A.A., and Aksoy U.T., “A Study on the Optimum Insulation Thickness of Various Types of External Walls with respect to Different Materials Fuels and Climate Zones in Turkey”, *Applied Energy*, 92: 211-217, (2012).
- [14] Kaynakli O., “A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 415-425, (2012).
- [15] Tingley D.D., Hathway A., and Davison B., “An Environmental Impact Comparison of External Wall Insulation Types”, *Building and Environment*, 85: 182-189, (2015).
- [16] Kürekcı N.A., “Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls by Using Heating and Cooling Degree-Day Values of All Turkey’s Provincial Centers”, *Energy and Buildings*, 118: 197-213, (2016).
- [17] Idchabani R., Khyad A., and El Ganaouic M., “Optimizing insulation thickness of external walls in cold region of Morocco based on life cycle cost analysis”, *Energy Procedia*, 139:117-121, (2017).
- [18] Yang J., and Tang J., “Influence of Envelope Insulation Materials on Building Energy Consumption”, *Frontiers in Energy*, 11: 575-581, (2017).
- [19] D’Agostino D., de’ Rossia F., Marigliano M., Marino C., and Minichiello F., “Evaluation of the optimal thermal insulation thickness for an office building in different climates by means of the basic and modified “cost-optimal” methodology”, *Journal of Building Engineering*, 24: 100743, (2019).
- [20] Ozalp C., Saydam D.B., Çerçi K.N., Hürdoğan E., and Moran H., “Evaluation of a sample building with different type building elements in an energetic and environmental perspective”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115: 109386, (2019).
- [21] Roumi S., Razi Astaraei F., Ghasempour R., Yousefi H., Hamlehdar M., and Razavi S., “New Insulation Replacement in Buildings’ Walls and Its Impact on Air Pollution Reduction in Tehran”, *Intelligent Buildings International*, 11: 65-74, (2019).
- [22] Dombayci Ö.A., Yilmaz E.U., Guven S., Atalay O., and Kemal H.O., “Determination of optimum insulation thickness for building external walls with different insulation materials using environmental impact assessment”, *Thermal Science*, 24: 303-311, (2020).
- [23] Alsuraqji I.H., Abdallah R., Assad M., El-Qanni A., “Energy savings and optimum insulation thickness in external walls in palestinian buildings”, *12th International Renewable Engineering Conference (IREC)*, 1-5, (2021).
- [24] Kallioğlu M.A., Sharma A., Chinnasamy V., Chauhan R., and Singh T., “Optimum insulation thickness assessment of different insulation materials for mid-latitude steppe and desert climate (BSH) region of India”, *Materials Today: Proceedings*, 44: 4421-4424, (2021).
- [25] Gülten A.A., “Farklı Yakıt Türlerine Göre Dış Duvar Sistem Alternatiflerinin Enerji Maliyetinin İncelenmesi”, *Technological Applied Sciences*, 2(1): 39-48, (2007).
- [26] TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartı”. Aralık 2013.
- [27] Fangueiro R., “Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications”, *Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited*, (2011).
- [28] Özkan D.B., and Onan C., “Optimization of Insulation Thickness for Different Glazing Areas in Buildings for Various Climatic Regions in Turkey”, *Applied Energy*, 88: 1331-1342, (2011).
- [29] Hasan A., “Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost”, *Applied Energy*, 63: 115-124, (1999).
- [30] <https://www.dosider.org/?p=5&a=2> Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- [31] <https://doviz/merkez-bankasi-doviz-kurlari/10-ekim-2022/> Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- [32] <https://www.flextab.com.tr/urun/eps-plus-isi-yalitim-levhasi-16-kg-m3-5cm-50cm-100cm-0-25m3> Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- [33] <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Istatistikler/Enflasyon+Verileri> Son Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- [34] <https://www.haberturk.com/merkez-bankasi-ekim-ayi-faiz-karari-ne-olur-merkez-bankasi-faiz-indirimi-surecek-mi-2022-ekim-tcmb-faiz-karari-tarihi-ve-saati-3530977-ekonomi> Son Erişim Tarihi: 06.06.2022