

Yeşil Çatı Uygulamasının Örnek Bir Bina İçin Isıtma İhtiyacı ve Çevre Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi

Doğan Burak Saydam^{*1}, Coşkun Özalp², Ertaç Hürdoğan^{2,3}, Cemre Polat⁴, Enes Kavun⁵

ÖZ

Bu çalışmada farklı derece gün bölgelerinde yer alan iki farklı şehirdeki yeşil çatı uygulamasının ısıtma ihtiyacına, çevre emisyonlarına ve yakıt maliyetine etkisi iki farklı iç ortam sıcaklıklarında incelenmiştir. Binanın, ısı yalıtımsız, ısı yalıtımlı ve yeşil çatılı olma durumları için ısıtma ihtiyacı, aylık yakıt maliyeti ve emisyon değerleri belirlenmiştir. Ayrıca ekonomik analiz yapılarak ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması ile yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. İç ortam sıcaklığı 19°C olduğu durumda ikinci gün bölgesinde mayıs ve eylül aylarında ısıtma ihtiyacına gerek duyulmazken, iç ortam sıcaklığı 21°C olduğu durumda mayıs ve eylül aylarında ısıtma ihtiyacına gerek duyulmuştur. İç ortam 19°C için birinci gün bölgesi için 15161.80 kg CO₂, ikinci gün bölgesi için ise 32484.27 kg CO₂'lik, iç ortam sıcaklığının 21°C kabul edilmesi durumu için birinci gün bölgesi için 19344.34 kg CO₂, ikinci gün bölgesi için ise ısı yalıtımsız duruma göre 36246.31 kg CO₂'lik bir azaltma gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevre, yeşil çatı, ısı yalıtımı, TS 825.

Investigation of the Effect of Green Roof Application on Heating Requirement and Environmental Emissions for a Sample Building

ABSTRACT

In this study, the effect of green roof application on heating requirement, environmental emissions and fuel cost in two different cities located in different degree day zones was examined at two different indoor temperatures. Heating requirement, monthly fuel cost and emission values have been determined for the condition of the building without heat insulation and with heat insulation and green roof. In addition, by performing an economic analysis, the payback period of the investment has been calculated with thermal insulation and green roof application. When the indoor temperature is 19°C, there is no need for heating requirement in the second degree day zone in May and September. However, if the indoor temperature is 21°C, there was a need for heating requirement in May and September. For indoor 19 °C, 15161.80 kg CO₂ for the first-degree day zone, 32484.27 kgCO₂ for the second-degree day zone, 19344.34 kg CO₂ for the first-degree day zone for the indoor temperature 21 °C, and the temperature for the second-degree day zone a reduction of 36246.31 kg CO₂ was achieved compared to the thermally non-insulated situation.

Keywords: Environment, green roof, thermal insulation, TS 825.

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 23.10.2020

Kabul/Accepted : 22.12.2020

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye dburaksaydam@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8453-2917

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye coskunozalp@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2249-7268

³ Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye, ehurdogan@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1054-9964

⁴ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Düziçi M.Y. O., Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Programı, Düziçi cemrepolat@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-7001-1042

⁵ Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye eneskavun@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2969-0880



EXTENDED ABSTRACT

Introduction/Background

With the energy efficiency studies carried out in buildings, certain levels of economic benefits can be achieved and at the same time, harmful environmental factors can be reduced by decreasing energy consumption. Roof is an important component of buildings and sustainable output can be achieved with a suitable design. In the past, covering the roof with a soil, moisturizing the soil covered were among the passive cooling applications in hot and arid climates. In recent years, it is possible to see different types of green roof applications in malls, schools, public buildings, and residences.

Objectives/ Research Purpose

The analyzes carried out by using the heat insulation standard-TS 825 in the buildings were made separately for the situation of the building in two different degree-day zones and different indoor temperatures. When the figures are examined, it is seen that the green roof application reduces the heating requirement in the heat insulated building. Monthly fuel consumption of a thermally non-insulated building is higher than the heat-insulated situation and the green roof application due to the high heat losses in the building. It is seen that the monthly fuel consumption of the building can be reduced as a result of the application of thermal insulation.

Methods/ Methodology

In this study, the effect of green roof application on heating requirement, environmental emissions, and fuel cost in two different cities located in different degree day zones was examined at two different indoor temperatures. Heating requirement, monthly fuel cost and emission values have been determined for the condition of the building without heat insulation and with heat insulation and green roof. In addition, by performing an economic analysis, the payback period of the investment has been calculated with thermal insulation and green roof application. In the study, only the heating requirement was calculated, and the condensation and cooling load were not included in the calculations. In the sample building, internal earnings are taken in accordance with TS 825. While calculating the solar energy gains, the windows are chosen as standard double glazing.

Results/ Findings

In this study, using TS 825 for cities located in different degree-day regions, the situation of a sample building with heat insulation, without heat insulation and green roof is discussed. The calculations were made for the first-degree day zone and the second-degree day zone, considering the external climate conditions. In addition to the 19 °C, which is included in the TS 825 and determined as the monthly average inner temperature value for the houses, two different evaluations were made by accepting the indoor temperature as 21 °C in the study. In the analysis, different parameters such as heating requirement (kW), fuel consumption (TL), emission amount (kg equivalent CO₂), savings potential (TL) and investment payback period (year) were used.

Discussion and Conclusions

In the results of working, it has been observed that the heating requirement of the building model that does not have thermal insulation for the two-degree day zone is higher than the other cases. As a result of thermal insulation, heat losses in the building have been reduced. In addition, it has been observed that the application of green roofs in addition to thermal insulation improves the heat loss points, especially from the roof, and reduces heat losses. This reduction in heat losses directly reduced fuel costs. If the green roof is applied for the case where the indoor temperature is accepted as 19 °C, a reduction of 15161.80 kgCO₂ and 32484.27 kgCO₂ respectively in the first- and second-day region has been achieved in emissions according to the non-insulated situation. If the indoor temperature is assumed to be 21 °C, the reduction amounts were 19344.34 kgCO₂ and 36246.31 kgCO₂.

At the end of the study, the importance of insulation and especially green roof applications has been revealed. Within the scope of the study, by expanding the calculations made by using TS 825 considering only the heating need, later by taking the cooling need into account, an increase in the amount of savings and a decrease in emissions may occur.



1. GİRİŞ

Konutlar mevsimsel ihtiyaca göre ısıtılır ve soğutulurlar. Yapı malzemelerinde termodinamik kurallara göre yüksek sıcaklığa sahip alandan daha düşük sıcaklığa sahip olan alana doğru bir ısı transferi gerçekleşir. Yapı malzemelerindeki bu ısı transferi özellikle soğuk iklim bölgelerinde ısı yalıtımı, enerji tüketimi ve iç ortam konfor şartları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [1]. Binalarda gerçekleştirilen enerji verimliliği çalışmaları ile belirli seviyelerde ekonomik faydalar sağlanabilmekte ve aynı zamanda enerji tüketiminin azalması ile zararlı çevresel etkenler azaltılabilmektedir [2]. Mevcut binaları yenilemenin ilk adımı, enerji giderlerinin ölçülmesi, izlenmesi ve kayıp noktalarının belirlenerek bu noktalara en uygun çözümün uygulanmasıdır [3]. Isı yalıtımı, bina kabuğunun termofiziksel özelliklerini değiştirerek ısıtma ve soğutma yüklerinin minimum seviyeye düşürülmesinde etkili bir elemandır [4]. Isı yalıtım sistemlerindeki değerler; yalıtım malzemesi ve kalınlıkları, duvar tipleri, cam ve çerçeve tipleri, binaların mimari şekilleri ile doğrudan ilgilidir [5]. Isı yalıtımı uygulaması yapılmayan bir binanın duvarlarından %25-40, çatıdan %23-27, pencerelerden %9-10, zeminden %13-15, infiltrasyondan (sızıntı) ile %16-19 arasında ısı kaybı meydana gelebileceği belirtilmektedir [6].

Çatı, binaların önemli bir bileşenidir ve uygun bir tasarım ile sürdürülebilir çıktılar elde etmek mümkündür. Geçmişte çatıyı bir toprak ile kaplamak, kaplanan toprağı ıslatmak, sıcak ve kurak iklimlerde pasif soğutma uygulamaları içerisinde yer almaktadır. Son yıllarda alışveriş merkezlerinde, okullarda, kamu binalarında ve konutlarda farklı tiplerde yeşil çatı uygulamaları görmek mümkündür [7-8]. Toprak parçasının bir yapı taşı olan yeşil çatıların keşfi, uzun bir döneme yayılan kalıntılar ışığında Neolitik döneme kadar uzanmaktadır [9]. Yeşil çatılar binalarda ısı kaybını azaltmanın bir yolu olarak görülmektedir. Yeşil çatı kısmen veya tamamen bitki örtüsü ile kaplı bir çatı ve su yalıtım membranı üzerine ekilen bir bitki yetiştirme alanıdır. Buna ek olarak yeşil çatılar bir kök bariyeri, drenaj tabakası, filtre örtüsü ve sulama sistemleri gibi ek tabakalarda içerebilir. Yeşil çatılar, yağmur ve sulama suyunu tutar, bu da ortam havasını etkili bir şekilde soğutur, güneş ışınların binalara olan direkt etkisini azaltır ve güneş ışınlarının su yalıtım tabakasına ve bina kabuğuna verebileceği fiziksel zararını azaltır. Yeşil çatılar ayrıca sıcak iklim kuşaklarında özellikle ilkbahar ve yaz aylarında enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra iç konforu da artırır [10-11].

Literatürde yeşil çatı uygulamalarının binalarda ısıtma enerjisine etkisi ile ilgili farklı çalışmalar yer almaktadır [12-17]. Andric vd. [14], sıcak iklimlerde bina enerji tüketimlerini azaltma önlemi olarak yeşil çatıların ve yeşil duvarların enerji tasarrufundaki potansiyelini incelemiştir. Yazarlar çalışma sonunda, yeşil duvar ve yeşil çatıların yapı bileşenine eklenmesinin enerji verimliliği sağladığını göstermişlerdir. Rasul ve Arutla [15], örnek bir bina için yeşil çatı sistemlerinin çevresel etkilerini incelemiştir.



lerdir. Çalışma sonucunda yeşil çatı uygulamalarının geleneksel çatı uygulamalarına göre emisyon değerlerinin %35 ile %83 aralığında azaldığını gösterilmiştir. Silva vd. [16], yeşil çatı uygulamalarının Akdeniz ikliminde ısıtma ve soğutma dönemlerindeki enerji tasarrufu açısından etkisini incelemiştir. Çalışmada farklı çatı tipleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yeşil çatılarda enerji tüketimi siyah ve beyaz çatılara göre sırasıyla %60-70 ve %45-60 daha az çıkmıştır. Bevilacqua vd. [17], çalışmada deneysel iklim verilerini ve izlenen sıcaklık verilerini yeşil çatı uygulaması için simüle etmişlerdir. Simülasyon sonuçları, yalıtımsız bir yeşil çatının yıllık %34.9 ve %34.7'lik tasarruf sağlayarak soğutma enerjisi talebini önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

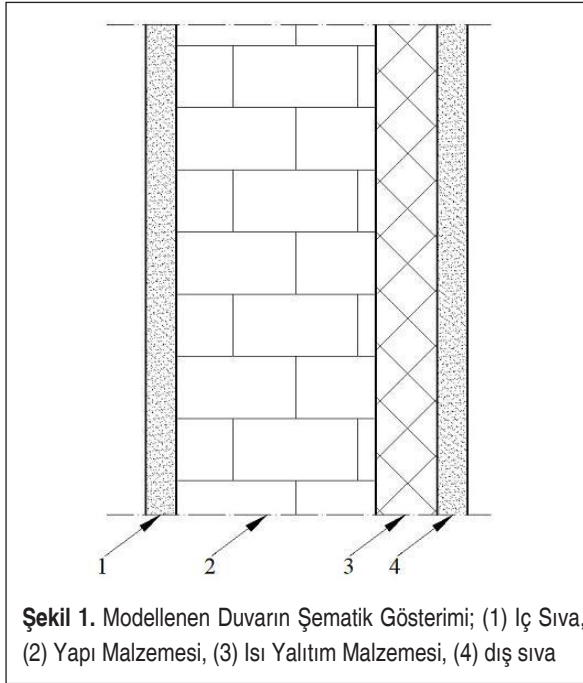
Bu çalışmada, tasarımı yapılan örnek bir binada, binanın ısı yalıtımlı, ısı yalıtımsız ve yeşil çatılı olması durumunda, ısıtma ihtiyacı, yakıt maliyeti, emisyon değeri, tasarruf miktarı ve yatırım geri ödeme süresi gibi parametreler ele alınarak incelenmiştir. Binalarda ısı yalıtım standardı-TS 825 kullanılarak gerçekleştirilen analizler, binanın iki farklı derece-gün bölgesinde olma durumu ve farklı iç ortam sıcaklıklar için ayrı ayrı yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Yapılan çalışmada, TS 825 içerisinde yer alan iki farklı derece-gün bölgesinden seçilen illerin iklim şartlarına göre örnek binanın ısı yalıtımsız, ısı yalıtımlı ve yeşil çatıya sahip olma durumlarına göre ısıtma ihtiyacı incelenmiş ve üç durum için de her bir aya ait aylık yakıt maliyetleri hesaplanmıştır.

Isı yalıtımı uygulaması yapılan binanın çatısına yeşil çatı uygulaması yapılarak binanın ısıtma ihtiyacındaki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda da her bir durum için binaya ait ısıtma ihtiyacı, aylık yakıt tüketimi ve yakıt tüketimine karşılık gelen emisyon miktarı hesaplanmış ve yatırım tutarı ve tasarruf miktarına göre ekonomik analiz yapılarak her bir durum için geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Hesaplamalar, binada iç ortam sıcaklığının 19°C ve 21°C olması durumu için ayrı ayrı yapılmıştır. Binada dış duvarlarda yapı malzemesi olarak tuğla, ısı yalıtım malzemesi olarak ise taş yünü ($k=0.040$ W/mK), taban ve tavan bölgesinde ise ısı yalıtım malzemesi olarak XPS ($k=0.031$ W/mK) kullanılmıştır. Hesaplamalarda ele alınan iller için optimum yalıtım kalınlığı [18-20] referanslarından alınmıştır. Hesaplamalarda balkon kapılarının tamamı cam ile kaplı olduğu için balkon kapıları pencere alanına dâhil edilmiştir. Ayrıca binada ısı köprüleri olmadığı ve toprak temaslı yüzey ve çatı altı yüzey standart olarak her bölge için aynı olacak şekilde kabul edilmiştir. Çalışmada sadece ısıtma yükü hesaplanmış olup, yoğuşma hesabı ve soğutma yükü hesaplamalara dahil edilmemiştir. Örnek binada iç kazançlar TS 825'e uygun olarak alınmıştır. Güneş enerjisi kazançları hesaplanırken camlar standart çift cam olarak seçilmiştir.

Şekil 1’de hesaplamalarda kullanılan, duvar modelinin şematik gösterimi, Tablo 1’de duvar ve Tablo 2’de tavan modelini oluşturan yapı malzemelerinin teknik özellikleri verilmiştir. Çalışmada ısıtma ihtiyacının karşılanabilmesi için yakıt olarak alt ısı değerleri $34.526 \times 106 \text{ J/m}^3$ olan doğalgaz seçilmiş ve yanma verimi %90 olarak alınmıştır. Doğalgaz fiyatı, Eylül 2020 yılı baz alınarak ve katma değer vergisi (KDV) dahil edilerek 2.1 TL/m^3 olarak belirlenmiştir [21-23]. Yeşil çatılar bitkinin yetişmesinde kullanılan tabaka derinliğine, bitkinin türüne ve bitki yoğunluğuna göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 2’de de yüzeysel bitkilendirilmiş, yarı yoğun bitkilendirilmiş ve yoğun bitkilendirilmiş yeşil çatı modellerine ait görseller yer almaktadır. Çalışmada, düşük bakım maliyeti ve bitkilerin yetiştirilmesinde kolaylık sağlamasından dolayı yüzeysel bitkilendirilmiş yeşil çatı modeli tercih edilmiştir. Seçilen yeşil çatı modelinin bileşenlerini oluşturan yapı malzemelerinin teknik özellikleri Tablo 3’te yer almaktadır. Yeşil çatı uygulaması standart bir tavan yapısının üzerine ayırıcı tabaka, drenaj tabakası, filtre tabakası, bitkinin yetiştirme tabakası olarak tanımlanan mineral tabanlı toprak karışımı (substrat tabakası) ve bitki uygulamasının yapılması ile oluşturulmuştur. Şekil 3’de ise hesaplamalarda kullanılan örnek bina modelinin bulunduğu kuzey/güney cephesi (a), doğu/batı cephesi (b) çizimleri yer almaktadır. Bina 970 m^2 taban alanlı, 900 m^2 tavan alanlı zemin kat dâhil 8 katlı ve her kat arası 2.80 m tek tabakalı yapı bileşenine sahiptir. Binada yıllık ısıtma enerji ihtiyacı, TS 825 çerçeve-





sinde binanın ısı yalıtımlı, ısı yalıtımsız ve yeşil çatıya sahip olma durumuna göre belirlenmiştir.

Tablo 1. Duvar Yapı Malzemelerine Ait Teknik Özellikler [24]

| Duvar (Taş Kaplamasız) | Kalınlık (m) | k (W/mK) |
|------------------------|--------------|----------|
| İnce Sıva | 0.02 | 0.87 |
| Kaba Sıva | 0 | 1.4 |
| Yalıtım Malzemesi | 0.05 | 0.04 |
| Yapı Malzemesi | 0.13 | 0.45 |
| Kaba Sıva | 0.03 | 1.4 |
| Alçı Sıva | 0.02 | 0.87 |

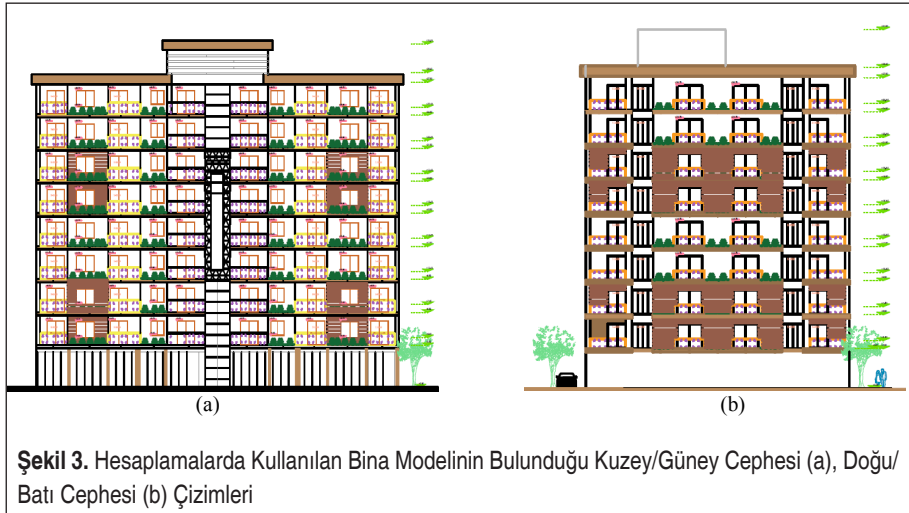
Tablo 2. Taban Yapı Malzemelerine Ait Teknik Özellikler [24]

| Taban | Kalınlık (m) | k (W/mK) |
|-----------------------|--------------|----------|
| Taş Kaplama | 0.03 | 1.3 |
| Tesviye Betonu | 0.05 | 1.4 |
| Donatılı Beton | 0.15 | 1.74 |
| Kırma Taş | 0.1 | 0.7 |
| Dolgu Malzemesi | 0.25 | 0.23 |
| Isı Yalıtım Malzemesi | 0.05 | 0.031 |



Tablo 3. Yüzeysel Bitkilendirilmiş Yeşil Çatıyı Oluşturan Yapı Malzemelerine Ait Teknik Özellikler [26]

| Yapı Bileşenleri | Kalınlık (m) | k (W/mK) |
|-------------------------------|--------------|----------|
| Yeşil Çatı Bileşenleri | | |
| Bitki | 0.1 | 0.3 |
| Substrat Tabakası | 0.3 | 0.069 |
| Filtre Tabaka | 0.001 | 0.22 |
| Drenaj Tabakası | 0.025 | 0.5 |
| Ayırıcı Tabaka | 0.005 | 0.25 |
| Tavan Bileşenleri | | |
| Çimento Harçlı Şap | 0.05 | 1.4 |
| XPS Levha | 0.05 | 0.031 |
| Bitümlü Su Yalıtımı | 0.005 | 0.19 |
| Betonarme | 0.12 | 2.1 |
| Kaba Sıva | 0.015 | 1.4 |
| Alçı Sıva | 0.02 | 0.87 |



Oluşturulan bina modelinde yıllık tüketilen enerji miktarını hesaplayabilmek için öncelikle bina dış duvarlarından olan ısı kayıplarını TS 825'e göre belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda ısı kaybı hesaplamalarında kullanılan eşitlikler verilmiştir.



$$Q_y = \sum Q_m \quad (1)$$

$$Q_m = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta_m (\phi_{im} + \phi_{s,m})] \cdot t \quad (2)$$

Burada Q_y yıllık ısıtma enerji ihtiyacını (Joule), Q_m aylık ısıtma ihtiyacı (Joule), θ_i aylık ortalama iç sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), θ_e aylık ortalama dış sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), η_m kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz), $\phi_{i,m}$ aylık ortalama iç kazançlar (W), $\phi_{s,m}$ aylık ortalama dış kazançlar (W), t zamanı (s) ifade etmektedir.

Yıllık ısıtma enerji ihtiyacı, binada meydana gelen özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (HT) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (Hv) toplamı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [24].

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

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

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V^t = 0.33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (5)$$

$$A_n = 0.32 \cdot V_{brüt} \quad (6)$$

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (7)$$

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (8)$$

Eşitliklerde A, yapı elemanlarının sahip olduğu alan (m^2), U ise yapı elemanlarının sahip olduğu ısı geçirgenlik katsayısıdır. Yapı elemanlarının yoğunlaşma olmayacak ve ısı köprüsü meydana gelmeyecek şekilde tasarlandığı kabul edilmiş olup, kat arası betonarme TS 825’de belirtildiği şekilde R direnci 0.8 olacak şekilde yalıtılmıştır.

$$\phi_{s,m} = \sum r_{i,m} \times g_{i,m} \times I_{i,m} \times A_i \quad (9)$$

Burada sabit değerler; $r_{i,m}$, “i” yönündeki saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü, $g_{i,m}$ “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü, $I_{i,m}$ “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2), ve A_i “i” yönündeki toplam pencere alanı (m^2) ifade etmektedir. Hesaplamalarda $r_{i,m}$ TS 825’den 0.6 olarak alınmıştır.

Güneş enerjisi geçirme faktörü çok katmanlı cam kullanıldığı durum için Eşitlik 10, aylık ortalama kazanç kullanım faktörü ise, Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$g_{i,m} = F_w g_{\perp} \quad (10)$$



$$\eta_m = 1 - e^{-1/GLRm} \quad (11)$$

$$KKO_m = (\phi_{i,m} + \phi_{s,m}) / H(\theta_{i,m} - \theta_{e,m}) \quad (12)$$

Eşitliklerde F_w camlar için düzeltme faktörü (0.8 alınmıştır), g_{\perp} yüzeye dik gelen ışın için güneş enerji geçirme faktörü (0.75 alınmıştır), KKO_m aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü ifade etmektedir. KKO_m oranı 2.5 ve üzerinde olduğunda, o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilmektedir [25].

Yıllık CO_2 emisyon miktarı, binanın toplam enerji tüketimine, kullanılan yakıtın cinsine göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir [27].

$$SEGM_y = 0.278 \times 10^{-3} \times B_y \times H_u \times FSEG \quad (13)$$

$$B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \eta_k} \quad (14)$$

Burada; $SEGM_y$ yıllık CO_2 emisyon miktarı (kg eşd. CO_2), H_u yakıtın alt ısıl değeri (kJ/m^3 veya kJ/kg), B_y yıllık yakıt miktarı (m^3 veya kg), $FSEG$ yakıt cinsine göre CO_2 emisyonu dönüşüm katsayısıdır (kg eşd. CO_2 / kWh) doğalgaz için bu sayı 0.239 kg eşd. CO_2 / kWh alınmıştır [28,29]. H_u yakıt alt ısıl değerini, η_k ise yanma verimini göstermektedir.

Isı yalıtımının uygulanabilirliği geri ödeme süresi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Geri ödeme süresi (PP) aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir.

$$PP = \frac{C_{ti}}{NE} \quad (15)$$

Eşitlikte PP proje geri ödeme süresini (yıl), C_{ti} ısı yalıtımı uygulaması için gerekli ilk yatırım bedelini (TL) ve NE yıllık tasarruf miktarını (TL/yıl) ifade etmektedir [30].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı derece-gün bölgesinde yer alan şehirler için TS 825 kullanılarak örnek bir binanın, ısı yalıtımlı, ısı yalıtımsız ve yeşil çatılı olma durumu ele alınmıştır. Hesaplamalar, dış iklim şartları da göz önüne alınarak birinci derece gün bölgesi için Osmaniye, ikinci derece gün bölgesi için ise Şanlıurfa ili için yapılmıştır. Çalışmada ayrıca TS 825'de yer alan ve konutlar için aylık ortalama iç sıcaklık değeri olarak belirlenen $19^{\circ}C$ 'ye ek olarak iç ortam sıcaklığı $21^{\circ}C$ kabul edilerek iki farklı değerlendirme yapılmıştır. Analizlerde, ısıtma ihtiyacı (kW), yakıt tüketimi (TL), emisyon miktarı (kg eşdeğer CO_2), tasarruf miktarı (TL) ve yatırım geri ödeme süresi (yıl) gibi farklı parametreler kullanılmıştır.



Şekil 4’de birinci derece-gün bölgesi ve ikinci derece-gün bölgesine ait ortalama aylık dış ortam sıcaklıkları ve konutlar için farklı iç ortam sıcaklıkları yer almaktadır. Şekil incelendiğinde ikinci gün bölgesine ait dış ortam sıcaklıklarının birinci derece gün bölgesinden daha düşük olduğu görülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçların sunulduğu grafikler Şekil 5-12 arasında yer almaktadır. Konutlar için ortalama iç ortam sıcaklığının 19°C ve 21°C olarak yapılan hesaplama sonuçlarına ait grafikler sırasıyla Şekil 5-8’de ve Şekil 9-12’de yer almaktadır. Şekillerden görüldüğü gibi, ısı yalıtımsız binanın ısıtma ihtiyacı ısı yalıtımlı ve yeşil çatı uygulamasına sahip binadan her iki gün bölgesi için de daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Yeşil çatı uygulamasının ısı yalıtımlı binada ısıtma ihtiyacını düşürdüğü yine şekiller incelendiğinde görülmektedir. Isı yalıtımsız binanın aylık yakıt tüketimi, binada ısı kayıplarının fazla olmasından dolayı ısı yalıtımlı duruma ve yeşil çatı uygulamasının yapıldığı duruma göre daha yüksektir. Isı yalıtımı uygulaması sonucunda binanın aylık yakıt tüketiminin azaltılabileceği görülmektedir. Isı yalıtımına sahip binanın çatısına yeşil çatı uygulaması yapıldığında ise yakıt maliyetlerinin bir miktar daha azalabileceği anlaşılmaktadır. Derece gün bölgesi arttıkça dış ortam sıcaklığının düşmesi ile binada hem ısıtma ihtiyacının arttığı hem de yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. İç ortam sıcaklığının 19°C kabul edilerek yapılan hesaplamalarda ısıtma ihtiyacının iç ortam sıcaklığının 21°C olması durumuna göre daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla iç ortam sıcaklığının 21°C olması dış ortamla sıcaklık farkının yükselmesi nedeni ile beklendiği üzere ısıtma ihtiyacını artırmıştır. İç ortam sıcaklığı 19°C olduğu durumda ikinci derece-gün bölgesinde mayıs ve eylül aylarında ısıtma ihtiyacına gerek duyulmazken, iç ortam sıcaklığı 21°C olduğu durumda mayıs ve eylül aylarında ısıtma ihtiyacına gereksinim duyulmaktadır.

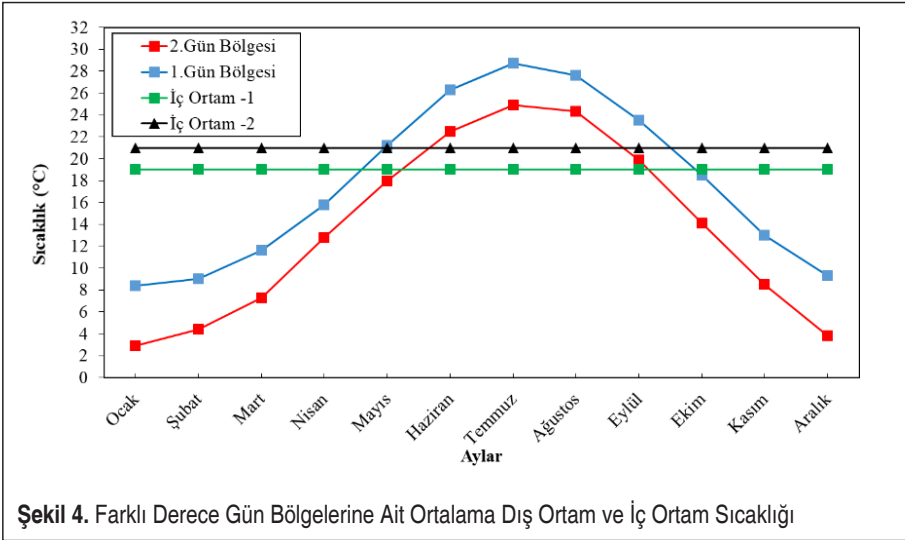
Isı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması ile yalıtımsız duruma göre binanın yakıt tüketimi düşmüş ve buda binanın emisyon miktarlarına yansımıştır. İç ortam sıcaklığının 19°C kabul edilmesi durumu için yeşil çatı uygulanması durumunda, ısı yalıtımsız duruma göre emisyonlarda birinci ve ikinci gün bölgesinde sırasıyla 15161.80 kg CO₂ ve 32484.27 kgCO₂’lik bir azaltma gerçekleşmiştir. İç ortam sıcaklığının 21°C kabul edilmesi durumunda ise azalma miktarları 19344.34 kgCO₂ ve 36246.31 kg CO₂ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 7 ve Şekil 11). Yeşil çatı ile ilgili değerlendirmelerde ayrıca yeşil çatının üzerinde bulunan yeşil bitkilerin CO₂ tutucu bir yapısının olmasından dolayı yeşil çatıların metre kare başına 1.22 kg CO₂ tutma [31,32] kabiliyeti de dikkate alınmıştır. Bu çerçevede yakıt tüketimlerinin azalması ile gerçekleşen emisyon miktarlarındaki düşüşe ek olarak her bir gün bölgesi içinde yeşil çatı kaynaklı yıllık ortalama yaklaşık 976 kgCO₂ emisyon azaltılması sağlanabilmektedir.

Çalışmada ayrıca ekonomik analiz yapılarak ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması ile ortaya çıkan tasarruf miktarları ve yapılan yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Şekiller 8 ve 12’den ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulanması ile yalıtımsız duruma göre elde edilen tasarruf miktarlarının aylara göre değişim gösterdiği, yeşil çatı uygulan-

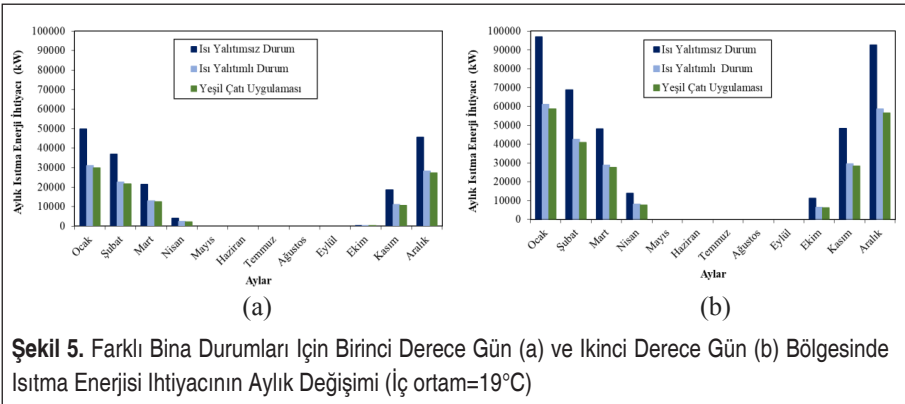


ması ile ısı yalıtım uygulamasına göre daha fazla tasarruf elde edilebileceği, birinci derece gün bölgesine göre ikinci derece gün bölgesinde dış ortam sıcaklığının daha düşük olmasından dolayı daha fazla tasarruf elde edilebileceği ve iç ortam sıcaklığının artması ile tasarruf miktarının azalacağı görülmektedir.

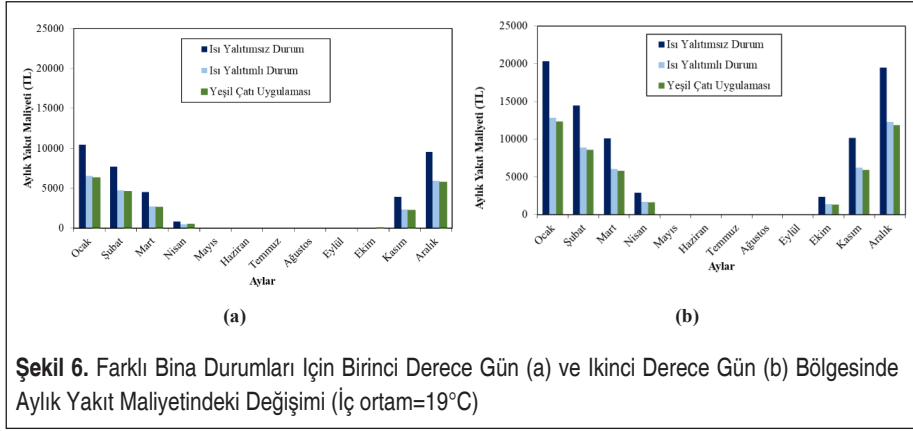
İç ortam sıcaklığının TS 825'in belirttiği 19°C alındığı durumda birinci gün bölgesi için sadece ısı yalıtımı uygulaması yapıldığında geri ödeme süresi 13.01 yıl, yeşil çatı uygulaması yapıldığında ise 12.31 yıl olarak hesaplanmıştır. İkinci gün bölgesi için yapılan ekonomik analizde ise ısı yalıtımı uygulaması için geri ödeme süresi 6.11 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması için geri ödeme süresi ise 5.74 yıl olarak hesaplanmıştır. İç ortam sıcaklığının 21°C kabul edilmesi durumunda ise birinci gün bölgesi için sadece ısı yalıtımı uygulaması yapıldığında geri ödeme süresi 11.48 yıl,



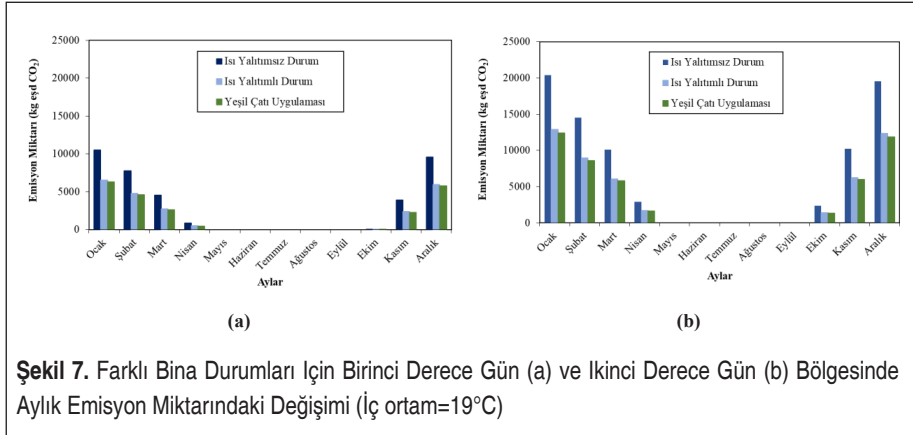
Şekil 4. Farklı Derece Gün Bölgelerine Ait Ortalama Dış Ortam ve İç Ortam Sıcaklığı



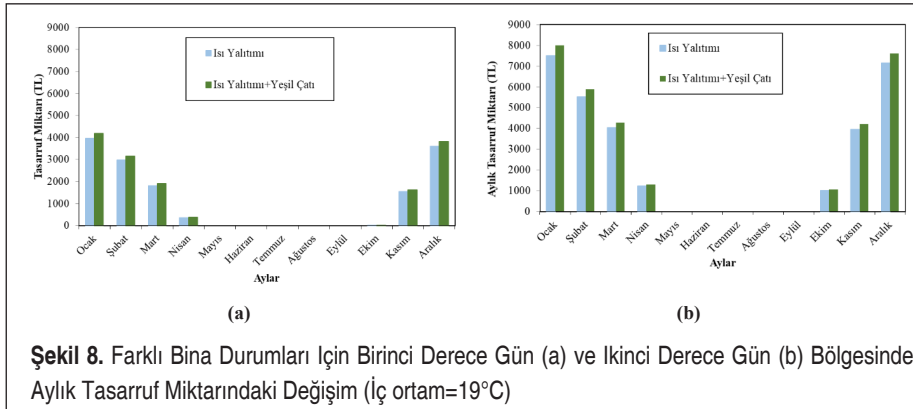
Şekil 5. Farklı Bina Durumları İçin Birinci Derece Gün (a) ve İkinci Derece Gün (b) Bölgesinde Isıtma Enerjisi İhtiyacının Aylık Değişimi (İç ortam=19°C)



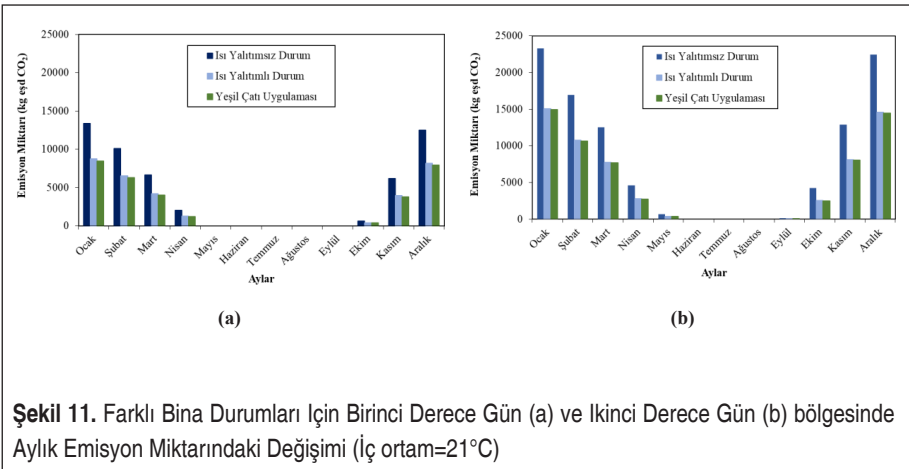
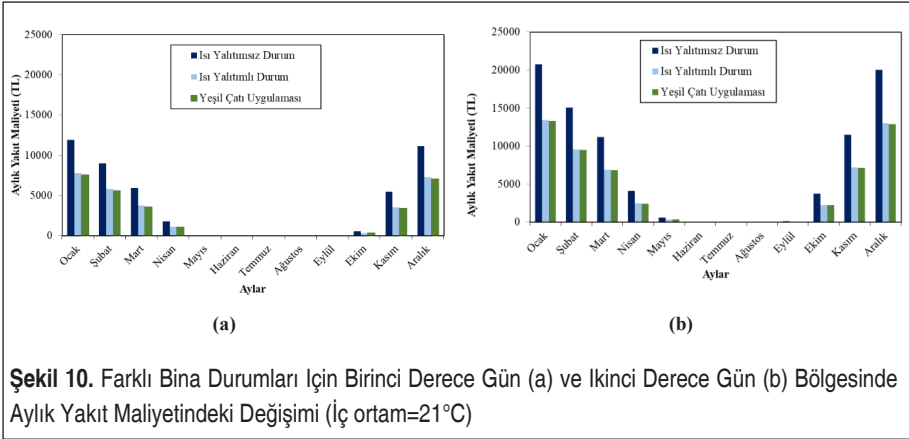
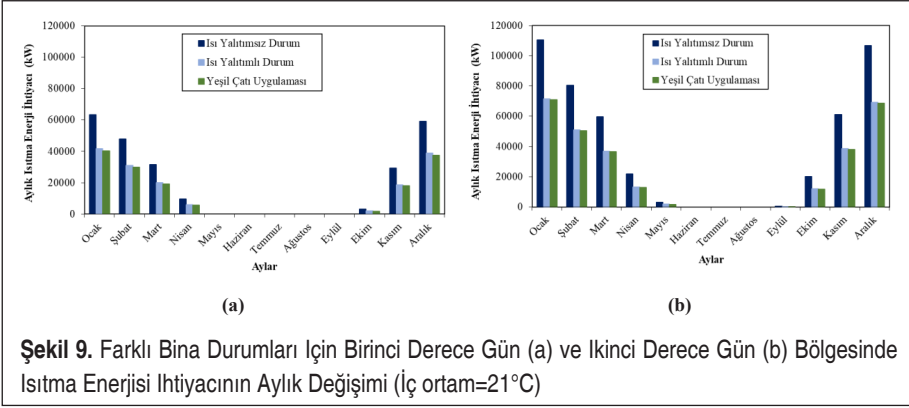
Şekil 6. Farklı Bina Durumları İçin Birinci Derece Gün (a) ve İkinci Derece Gün (b) Bölgesinde Aylık Yakıt Maliyetindeki Değişimi (İç ortam=19°C)

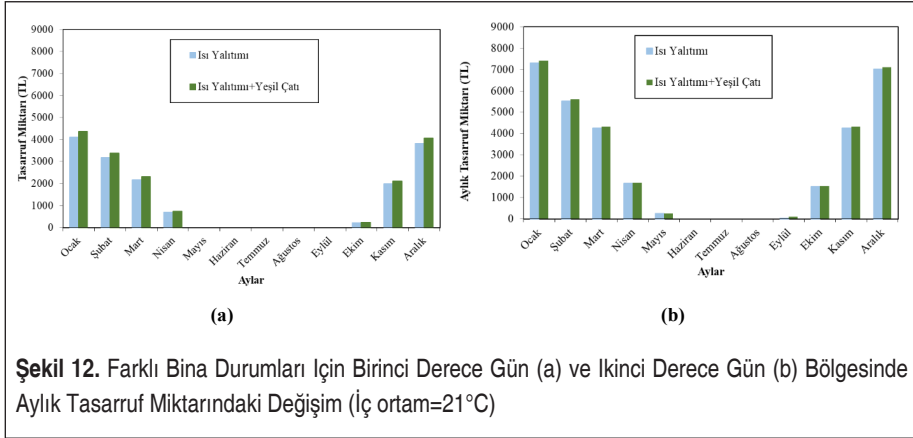


Şekil 7. Farklı Bina Durumları İçin Birinci Derece Gün (a) ve İkinci Derece Gün (b) Bölgesinde Aylık Emisyon Miktarındaki Değişimi (İç ortam=19°C)



Şekil 8. Farklı Bina Durumları İçin Birinci Derece Gün (a) ve İkinci Derece Gün (b) Bölgesinde Aylık Tasarruf Miktarındaki Değişimi (İç ortam=19°C)





Şekil 12. Farklı Bina Durumları İçin Birinci Derece Gün (a) ve İkinci Derece Gün (b) Bölgesinde Aylık Tasarruf Miktarındaki Değişim (İç ortam=21°C)

ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması yapıldığında ise 10.79 yıl olarak hesaplanmıştır. İkinci gün bölgesi için yapılan ekonomik analizde ise ısı yalıtımı uygulaması için geri ödeme süresi 5.84 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması için geri ödeme süresi ise 5.75 yıl olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ısı yalıtımsız, ısı yalıtımlı ve yeşil çatı uygulamasına sahip farklı derece gün bölgelerinde yer alan bir binanın, aylık ısıtma ihtiyacı, aylık yakıt tüketimi miktarı ve yakıt tüketimine karşılık gelen emisyon miktarları ve elde edilen tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda;

- ✓ İki derece gün bölgesi için de ısı yalıtımına sahip olmayan bina modelinin ısıtma ihtiyacının diğer durumlara göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.
- ✓ Isı yalıtımı sonucunda binadaki ısı kayıpları azaltılmıştır. Ayrıca ısı yalıtımı üzerine ek olarak yeşil çatı uygulaması binada özellikle çatı kaynaklı ısı kayıp noktalarını iyileştirdiği ve ısı kayıplarını azalttığı görülmüştür. Isı kayıplarındaki bu azalma da direk olarak yakıt maliyetlerini azaltmıştır.
- ✓ İç ortam sıcaklığının 19°C kabul edilmesi durumu için yeşil çatı uygulanması durumunda, ısı yalıtımsız duruma göre emisyonlarda birinci ve ikinci gün bölgesinde sırasıyla 15161.80 kgCO₂ ve 32484.27 kgCO₂'lik bir azaltma gerçekleşmiştir. İç ortam sıcaklığının 21°C kabul edilmesi durumunda ise azalma miktarları 19344.34 kgCO₂ ve 36246.31 kgCO₂ olarak gerçekleşmiştir.
- ✓ İç ortam sıcaklığının 19°C alındığı durumda birinci derece-gün bölgesi için sadece ısı yalıtımı uygulaması yapıldığında geri ödeme süresi 13.01 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması yapıldığında ise 12.31 yıl olarak hesaplanmıştır.



İkinci derece-gün bölgesi için yapılan ekonomik analizde ise ısı yalıtımı uygulaması için geri ödeme süresi 6.11 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması için geri ödeme süresi ise 5.74 yıl olarak hesaplanmıştır.

- ✓ İç ortam sıcaklığının 21°C kabul edilmesi durumunda ise birinci derece-gün bölgesi için sadece ısı yalıtımı uygulaması yapıldığında geri ödeme süresi 11.48 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması yapıldığında ise 10.79 yıl olarak hesaplanmıştır. İkinci derece-gün bölgesi için yapılan ekonomik analizde ise ısı yalıtımı uygulaması için geri ödeme süresi 5.84 yıl, ısı yalıtımı ve yeşil çatı uygulaması için geri ödeme süresi ise 5.75 yıl olarak hesaplanmıştır

Yapılan çalışma sonunda yalıtım ve özellikle yeşil çatı uygulamalarının önemi ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında TS 825 kullanılarak sadece ısıtma ihtiyacı dikkate alınarak yapılan hesaplamaların, daha sonra soğutma ihtiyacı da dikkate alınarak genişletilmesiyle, tasarruf miktarlarında artma ve emisyonlarda ise azalmalar meydana gelebilecektir.

KAYNAKÇA

1. **Ozalp, C., Saydam, D. B., Çerçi, K. N., Hürdoğan, E., Moran, H.** 2019. "Evaluation of a sample building with different type building elements in an energetic and environmental perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 115.
2. **Dylewski, R., Adamczyk, J.** 2011. "Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls," *Build. Environ.*, vol. 46(12), p. 2615–2623.
3. **Cholewa, T., Balaras, C. A., Nižetić, S., Siuta-Olcha, A.** 2020. "On calculated and actual energy savings from thermal building renovations – Long term field evaluation of multifamily buildings," *Energy Build.*, vol. 223.
4. **Bektas Ekici, B., Aytac Gulten, A., 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," *Appl. Energy*, vol. 92, p. 211–217.
5. **Koyun, T , Koç, E.** 2017. "Bir Binanın Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi," *Mühendis ve Makina*, 58 (688), 1-14 .
6. **Tong, J. C. K., Tse, J. M. Y., Jones, P. J.** 2018. "Development of thermal evaluation tool for detached houses in Mongolia," *Energy Build.*, vol. 173, p. 81–90.
7. **Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., Toudeshki, A., Sulaiman, M. Y.** 2013. "A review of energy aspects of green roofs", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 23, p. 155–168.
8. **Karachaliou, P., Santamouris, M., Pangalou, H.** 2016. "Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens," *Energy Build.*, vol. 114, p. 256–264.



9. **Jim, C. Y.** 2017. "An archaeological and historical exploration of the origins of green roofs." *Urban For. Urban Green.*, vol. 27, p. 32–42.
10. **Mungur, M., Poorun, Y., Juggurnath, D., Ruhomally, Y. B., Rughooputh, R., Dauhoo, M. Z., Khoodaruth, A., Shamachurn, H., Gooroochurn, M., Boodia, N., Choonnea, M., Facknath, S.** 2020. "A numerical and experimental investigation of the effectiveness of green roofs in tropical environments: The case study of Mauritius in mid and late winter." *Energy*, vol. 202.
11. **Tsang, S. W., Jim, C. Y.** 2013. "A stochastic model to optimize forecast and fulfillment of green roof demand," *Urban For. Urban Green.*, vol. 12(1), p. 53–60.
12. **Brandão, C., Cameira, M. do R., Valente, F., Cruz de Carvalho, R., Paço, T. A.** 2017. "Wet season hydrological performance of green roofs using native species under Mediterranean climate," *Ecol. Eng.*, vol. 102, p. 596–611.
13. **Azeñas, V., Janner, I., Medrano, H., Gulías, J.** 2019. "Evaluating the establishment performance of six native perennial Mediterranean species for use in extensive green roofs under water-limiting conditions," *Urban For. Urban Green.*, vol. 41(April), p. 158–169.
14. **Andric, I., Kamal, A., Al-Ghamdi, S. G.** 2020. "Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar," *Energy Reports*, vol. 6, p. 2476–2489.
15. **Rasul, M. G., Arutla, L. K. R.** 2020. "Environmental impact assessment of green roofs using life cycle assessment," *Energy Reports*, vol. 6, p. 503–508.
16. **Silva, C. M., Gomes, M. G., Silva, M.** 2016. "Green roofs energy performance in Mediterranean climate." *Energy Build.*, vol. 116, p. 318–325.
17. **Bevilacqua, P., Bruno, R., ve Arcuri, N.** 2020. "Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data," *Renew. Energy*, vol. 152, p. 1414–1430.
18. **Fertelli, A.** 2013. "Determination of optimum insulation thickness for different building walls in Turkey," *Trans. Famena*, vol. 37(2), p. 103–113.
19. **Moran, H.** 2018. "Farklı Derece Gün Bölgelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Yatırım-Tasarruf Yöntemine Göre Hesaplanması ve Çevresel Etki Analizi", *Osmaniye Korkut Ata Üniveristesi, Osmaniye*.
20. **Gürel, A. E., Daşdemir, A.** 2011. "Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, sayı 27(4), s. 346–352.
21. **Aksa Doğalgaz.** 2020. "Doğa dostu enerji doğalgaz | Aksa Doğalgaz," <https://www.aksadogalgaz.com.tr> , Son Erişim tarihi 5 Ekim 2020.
22. **Enerya Enerji A.Ş.** 2020. "ENERYA," <https://www.enerya.com.tr>, Son Erişim tarihi 5 Ekim 2020.



23. **B2B Medya.** 2020. “Doğalgaz Teknolojileri Cihaz ve Sistemleri Dergisi,” www.dogalgaz.com.tr, Son Erişim tarihi 5 Ekim 2020.
24. **Türk Standartları Enstitüsü.** 2009. TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara.
25. **Teotónio, I., Cabral, M., Cruz, C. O., Silva, C. M.** 2020. “Decision support system for green roofs investments in residential buildings,” *J. Clean. Prod.*, vol. 249.
26. **Ayçam, İ., Kınalı, M.** 2013. “Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi,” *Tesisat Mühendisliği*, vol. 135, s. 26–34.
27. **Evin, D., Ucar, A.** 2019. “Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 154(December 2018), p. 573–584.
28. **Zaimoğlu Z.** 2017. “Farklı İklim Bölgelerindeki Seralar için Isı Gereksinimlerinin Modellenmesi,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 32:79–86
29. **Baytorun AN, Akyüz A, Üstün S.** 2016. “Reducing CO2 Emissions in Greenhouses Regarding Heat Efficiency Increase,” *International Journal of Advanced Research*, 4(11), 1930-1936.
30. **Chan, A. L. S., Chow, T. T.** 2010. “Investigation on energy performance and energy pay-back period of application of balcony for residential apartment in Hong Kong,” *Energy Build.*, vol. 42(12), p. 2400–2405.
31. **Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., Cregg, B. M.** 2014. “Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems,” *Landsc. Urban Plan.*, vol. 123, p. 41–48.
32. **Shafique, M., Xue, X., Luo, X.** 2020. “An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas,” *Urban For. Urban Green.*, vol. 47.