



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.05.2022
Kabul Tarihi : 21.08.2022

Received Date :23.05.2022
Accepted Date : 21.08.2022

BİNALARDA ISI KAYBINA NEDEN OLAN YAPISAL SORUNLARIN TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLEME TEKNİĞİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF STRUCTURAL PROBLEMS THAT CAUSE HEAT LOSS IN BUILDINGS WITH THERMAL CAMERA IMAGING TECHNIQUE

Ali ELHUYEYDİ¹ (ORCID: 0000-0003-0607-3350)
Faruk ORAL^{2*} (ORCID: 0000-0002-4114-0785)

¹Rasus Chemistry Cleaning and Cosmetics, Gaziantep, Türkiye

² Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Faruk ORAL, foral@beu.edu.tr

ÖZET

Türkiye’de kullanılan enerjinin önemsenecek miktarı binalarda ısıtma amaçlı tüketilmektedir. Kış aylarında binalarda oluşan ısı kayıplarını azaltarak enerji tüketimini etkin ve verimli kullanmak mümkündür. Isı yalıtımı, binalarda oluşan ısı kayıplarının azaltılmasında kullanılan en önemli yöntemdir. Ayrıca binada uygulanan ısı yalıtımının uygunluğu ve verimliliği araştırılmalıdır. Bu çalışmada, Bitlis İli Rahva yerleşkesinde bulunan Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi hizmet binası temel çalışma alanı olarak seçilmiştir. Binanın ısıtılması için kullanılacak teorik yakıt tüketim miktarı belirlenmiş ve gerçek tüketim değeri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca ısıtma sezonunda binanın farklı dış cephelerinden termal kamera ile görüntüleri çekilerek ısı ve yalıtım verimliliği değerlendirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda; binanın birim kullanım alanı başına ısı enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen değerin üzerinde olduğu, ısıtma amaçlı kullanılan gerçek yakıt tüketiminin teorik yakıt tüketiminden fazla olduğu belirlenmiştir. Binanın termal kamera ile incelenmesi sonucunda, pencere çerçevelerinin duvar ile birleşim yerlerinde ve bazı dış duvarlarda izolasyonun iyi uygulanmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal kamera, binalar, ısı kaybı, ısı yalıtımı, enerji tasarrufu.

ABSTRACT

The significant amount of energy used in Turkey is for heating purposes. It is possible to use energy consumption effectively and efficiently by reducing the heat losses in buildings during the winter months. Thermal insulation is the most important method used to reduce heat losses in buildings. In addition, the suitability and efficiency of the thermal insulation applied in the building should be investigated. In this study, Bitlis Eren University Faculty of Arts and Sciences service building located in Rahva campus of Bitlis Province was chosen as the main study area. The theoretical fuel consumption amount to be used for heating the building was determined and compared with the actual consumption value. In addition, during the heating season, thermal and insulation efficiency was evaluated by taking images of the building from different facades with a thermal camera. As a result of the calculations; It has been determined that the heat energy requirement per unit usage area of the building is above the value specified in the TS 825 standard, and the actual fuel consumption used for heating purposes is higher than the theoretical fuel consumption. As a result of the examination of the building with a thermal camera, it was determined that the insulation was not applied well at the junction of the window frames with the wall and on some exterior walls.

Keywords: Thermal camera, buildings, heat loss, thermal insulation, energy conversion.

GİRİŞ

Enerji ihtiyacının giderek arttığı bu zamanda, yeni ve temiz enerji kaynaklarının bulunmasının yanında enerjiyi etkin ve verimli kullanmakta önem kazanmıştır. Son yıllarda, dünyada binalarının enerji verimliliğinin iyileştirilmesinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu iyileştirmelerin amacı, enerjiyi daha verimli kullanmak ve ülkelerin ekonomik büyümesini arttırmaktadır. Ayrıca kullanıcıların iç mekânlarında daha fazla konfor sağlamak ve binalarda enerji tüketiminden kaynaklanan zararlı sera gazlarının çevreye olan salınımını azaltmaktadır (Zalewski et al., 2010). Binalarda yapılan en önemli iyileştirmelerden biri olarak, bina kaplamalarının (zarflarının) termal verimliliğinin incelenmesidir. Bu inceleme sonucunda, binanın ana bileşenlerine (duvarlar, pencereler vb.) uygulanan ısı yalıtımının kalitesi belirlenir.

Binalarda enerjiyi verimli kullanmak için uygulanan en etkili yöntemlerin başında, binanın dış cephe ısı yalıtımını yaparak oluşan ısı kayıplarını asgari seviyeye indirmektir. Bu şekilde binalarda kış aylarında ısı kayıplarını, yaz aylarında ise ısı geçirimini azaltmak mümkün olabilmektedir. Binalarda meydana gelen ısı kayıpları; proje hataları, kalitesiz malzeme, işçilik, imalat hataları, denetim eksikliği gibi uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Türkiye’de soğuk iklim bölgelerinde binaların dış cephe yalıtımının yaygınlaşması ile birlikte yapılan yalıtımın verimliliğinin araştırılması önemli hale gelmiştir (Oral ve Elhuveydi, 2021).

Isıya duyarlı termal görüntüleme cihazı ile binaların dış cephelerinde oluşan ısı kayıplarının tespiti yapılabilmektedir. Termal görüntüleme cihazı, doğrudan temas gerçekleştirilmesizin kızıl ötesi dalga boyu spektrumunda yüzey sıcaklıklarını tespit edebilmektedir. Termal görüntüleme cihazı kullanılarak binaların yalıtımlı dış cephelerinde ısı kayıplarının gerçekleştiği yerler belirlenebilmektedir. Böylece bina dış cephe yalıtımının uygunluğu, hangi yapı elemanlarında daha fazla ısı kayıplarının meydana geldiği, hatalı yalıtımın yapıldığı yerlerin tespiti mümkün olmaktadır. Kızıl ötesi termografi, bazı ülkelerde kentsel binalardaki ısı kayıplarını belirlemek ve aynı zamanda yapısal başarısızlıkları ve nem ile ilgili sorunları tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ocaña, Guerrero and Requena, 2004).

Konu ile ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Aytaç Gülten ve Aksoy (2011) çalışmalarında Elazığ’da kentsel bir alanın ısı dağılımını termal kamera ile görüntüleyerek yapı elemanlarının termal davranışlarını incelemişlerdir. Çaylı vd. (2016) çalışmalarında, seralardaki imalat hatalardan kaynaklanan ısı kayıplarının belirlenmesinde termal kamera cihazının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi uygulama alanında bulunan seralarda yapılmıştır. Sonuçta termal kamera ile hatalı ısı yalıtım uygulamalarının tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Ünal ve Bayram (2017) çalışmalarında, Ankara ilinde seçilen bir binanın ısı kayıplarını incelemişlerdir. Binanın ısı yalıtım etkinliğinin belirlenmesi ve ısı kayıplarının olduğu alanların tespiti için, termal kamera cihazı kullanmışlardır. Bu uygulamada, termal kameradaki kızıl ötesi görüntüler incelenerek binadaki yalıtım uygulamalarının performansı değerlendirilmiştir. Rüşen vd. (2018) çalışmalarında, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi (KMÜ) kampüsünün enerji verimliliğini inceleyerek tasarruf potansiyelini belirlemişlerdir. Bu amaç ile yapılan ölçümler sonucunda üniversitenin yaklaşık %18’lik enerji tasarrufu potansiyelinin olduğunu belirtmişlerdir. Kotan vd. (2018) EPS ile genişletilmiş perlitin ısı yalıtım performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaç ile oluşturdukları deney odasında her iki yalıtım malzemesinin performansını termokupl ve termal kamera cihazlarını kullanarak ölçmüşlerdir. Sonuçta EPS malzemesinin birim kalınlık başına ısı yalıtım performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Karagüzel (2019) çalışmasında talaşlı imalat esnasında oluşan kesme sıcaklığını deneysel ve teorik incelemiştir. Kesme sıcaklığının deneysel ölçümünde termal kamera kullanılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların birbirine çok yakın gerçekleştiği belirtilmiştir. Büyüktaş vd. (2019) Akdeniz Bölgesinde kullanılan polietilen sera örtülerinin şiddetli dolu yağışı sonucu üzerinde oluşan hasarların tespitinde termal kameranın kullanılmasını araştırmışlardır. Oluşan zararın belirlenmesi ile ilgili bir model geliştirmişlerdir. Zengin vd. (2019) Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi içinde bulunan bina ve çevre bitki örtüsünü, ortam sıcaklığı açısından termal kamera ile incelemişlerdir. Doğal bitki örtüsünün daha serin bir ortam oluşturduğu sonucuna varmışlardır. Demircan (2020) binalarda oluşan ısı kayıplarının termal kamera ile belirlenmesini araştırmıştır. Sonuçta Adapazarı ilinde yalıtımsız dört adet binanın termal kamera görüntülerini kullanarak binalarda meydana gelen ısı kaçaklarının yerlerini tespit ederek öneriler sunmuştur. Abdelhafiz vd. (2022) termal kamera ile binaların yalıtım verimliliğini araştırmışlardır. Bu amaç için bina cephelerinde her noktada iç ve dış sıcaklık farklarını belirlemek için yeni bir yazılım geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, binalarda ısıtma amaçlı ısı enerjisi ve yakıt tüketim ihtiyacının termal kamera ile elde edilen sonuçlar ile birleştirilip değerlendirilmesi üzerine yeterli bir çalışma görülmemektedir.

Kış aylarının soğuk ve yoğun kar yağışı ile geçtiği Bitlis ilinde, binaların ısıtılmasında kullanılan yakıt ve bunun sonucu oluşan maliyet fazla olmaktadır. Yakıtların yanması sonucu oluşan baca gazı emisyonları insan sağlığı bakımından olumsuz çevre şartlarına neden olmaktadır. Bu nedenle binalarda kış aylarında oluşan ısı kayıplarının azaltılması hem çevre sağlığı hem ekonomik bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Bitlis İli Rahva yerleşkesinde bulunan Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi hizmet binasında ısı kaybına neden olan yapısal sorunlar ve binanın yalıtım uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaç ile binanın birim kullanım alanı başına ısı enerjisi ihtiyacı, ısıtma amaçlı yakıt tüketim değerleri ve termal görüntüleme cihazı ile elde edilen dış cephe görüntüleri kullanılarak muhtemel yapısal sorunlar ve uygulanan yalıtımın verimliliği değerlendirilmiştir. Çalışma ile binalarda ısı kaybına neden olan muhtemel yapısal kusurlar özellikle bina dış cephe yüzeylerinde yanlış yalıtım uygulamalarının belirlenerek ısıtma amaçlı yakıt maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye’de binalarda ısı enerjisi kayıplarının hesaplanmasında ve birim hacim başına müsaade edilebilecek en büyük ısı enerjisinin belirlenmesinde TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı kullanılmaktadır (Atmaca, 2016). Bu standarda göre Bitlis ili dördüncü derece gün bölgesi içinde yer almaktadır. Araştırma kapsamında Bitlis İli Rahva yerleşkesinde bulunan Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi (FEF) hizmet binası temel çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bina; iki bodrum (BK), bir zemin (ZK), üç normal (NK) olmak üzere 6 kattan oluşmaktadır. Çalışma sahası, 42.163560°E – 38.478214°N coğrafi koordinatlarında olup deniz seviyesinden 1795 m yüksekliğindedir. Seçilen binanın özellikleri Tablo 1’de, binaya ait yapı elemanlarının yüzey alanı ve toplam ısı geçiş katsayı değerleri (U) ise Tablo 2’de verilmiştir (Elhuveydi, 2020). Çalışmada binalara ait bilgiler, bina ısıtılmasında kullanılan yakıt tüketim miktarları, ilgili kurum kayıtlarından alınmıştır.

Tablo 1. İncelenen Binanın Özellikleri

Özellikler	
Bina durumu	Ayrık nizam
Kat adedi	6 (2BK+1ZK+3NK)
Pencereler	Plastik doğramalı, çift camlı
Binanın eni (m)	41.00
Binanın boyu (m)	83.20
Kat yüksekliği (m)	3.30
Toplam ısıtılan alan (m ²)	10543
Brüt hacim (m ³)	49228

Tablo 2. Bina Yapı Elemanları Yüzey Alanı ve Toplam Isı Geçiş Katsayı Değerleri

Yapı elemanı tipi	Yüzey alanı (m ²)	U (W/m ² K)
Dış havaya açık tuğla duvar	1956.08	0.358
Dış havaya açık kolon-kiriş donatısı	805.57	0.794
Dış havaya açık perde duvar	458.52	0.847
Toprak temaslı kolon-kiriş donatısı	186.33	0.531
Toprak temaslı perde duvar	655.25	0.560
Isıtılmayan iç ortam ile bitişik tuğla duvar	359	0.347
Üstü çatılı tavan	2313	0.247
Toprak temaslı taban	2313	0.414
Dış pencere	1460	2.9
Dış kapı	33.88	5.5

Matematiksel Yöntem

İnsanların binalarda ısı konfor şartlarında üşümeden sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürmeleri için binaların ısıtılması gerekmektedir. Bu amaçla binaların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması gerekmektedir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, binada ısıtma sezonu boyunca oluşan toplam ısı kaybından güneş enerjisi kazancı ile iç kazançların çıkarılmasıyla belirlenir (Ateş vd. 2021).

Binalarda ısı kaybı, sıcaklık farkı nedeniyle duvar, döşeme, tavan, zemin, pencere, kapı gibi binayı oluşturan yapı bileşenlerinde meydana gelir. Bir hacmin toplam özgül ısı kaybı (Q_{Top}), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen özgül ısı kaybı (Q_i) ile hava sızıntısı sonucu oluşan özgül ısı kaybının (Q_v) toplanması ile bulunur (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2012). İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, hacmi çevreleyen yapı bileşenlerinde oluşan ısı kayıplarının toplamıdır. Özgül ısı kayıpları aşağıda verilen eşitliklerden hesaplanabilir (Najjar vd. 2019; TSE, 2013).

$$Q_{Top} = Q_t + Q_v \quad (1)$$

$$Q_t = \sum U.A \quad (2)$$

$$Q_v = \rho c V' = 0.33 n_h V_h \quad (3)$$

Eşitliklerde U her bir yapı bileşeninin toplam ısı geçiş katsayısını, A ısı geçişinin gerçekleştiği her bir yapı bileşeninin yüzey alanını, ρ havanın yoğunluğunu, c havanın özgül ısısını, V' hacimce hava değişim debisini, n_h hava değişim oranını ve V_h ısıtılan alanın hacmini ifade etmektedir. Bir binanın ısı kaybı, binayı oluşturan tüm hacimlerde meydana gelen ısı kayıplarının toplamı ile hesaplanır.

Bir binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$), aylık ısı ihtiyaçlarının (Q_{ay}) toplamına eşittir. Aylık ısı ihtiyacı, aylık ısı enerjisi kaybından ısı enerjisi kazançlarının (iç ve güneş enerjisi) çıkarılması sonucu hesaplanır. Yıllık ve aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir (TSE, 2013).

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (4)$$

$$Q_{ay} = \left[Q_{Top}(T_i - T_d) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) \right] t \quad (5)$$

Eşitliklerde yer alan T_i aylık ortalama iç sıcaklığını; T_d aylık ortalama dış sıcaklığını; η_{ay} aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü; $\phi_{i,ay}$ aylık ortalama iç ısı kazancını; $\phi_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazancını; t zamanı ifade etmektedir. Bu çalışmada aylık ortalama dış sıcaklık ve aylık ortalama güneş enerjisi kazancı değerleri Bitlis Meteoroloji İstasyonundan elde edilmiştir.

Bir binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre tüketilen yakıt miktarı aşağıda verilen eşitlik ile belirlenebilir (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2012).

$$B_y = Q_{yıl} / (H_u \eta_k) \quad (6)$$

Bu son eşitlikte, B_y yıllık yakıt tüketimini (kg veya m^3); H_u kullanılan yakıtın alt ısıl değerini (kJ/kg veya kJ/m^3) ve η_k kazanın verimini (%) ifade etmektedir. Binada ısıtma sezonlarında kullanılan yakıtların alt ısıl değeri ve kazan verimi Tablo 3'de verilmiştir (Karakoç, 2011).

Tablo 3. Yakıtların Alt Isıl Değerleri ve Kazan Verimi

Yakıt türü	Yakıtın Alt Isıl Değeri (H_u)	Kazan Verimi (η_k) (%)
Linyit kömür	23020 (kJ/kg)	0.60-0.65
Doğalgaz	34535 (kJ/m^3)	0.85-0.92

Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı, TS 825 standardına göre bulunduğu derece gün bölgesine göre maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerini geçmemesi gerekmektedir (Ateş vd. 2012; TSE, 2013). Çalışmada seçilen bina TS 825 standardına göre dördüncü derece gün bölgesinde olması nedeniyle yıllık ısıtma enerjisinin maksimum sınır değeri (Q') aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir (TSE, 2013).

$$Q' = 82.5 \left(\frac{A_{Top}}{V_{brüt}} \right) + 50.7 \quad (7)$$

Eşitlikte, A_{Top} binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanını; $V_{brüt}$ binanın ısıtılan brüt hacmini ifade etmektedir.

Fen Edebiyat Fakültesi binasının 2017-2019 ısıtma yıllarını kapsayan ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı TS 825 standardına göre yapılmıştır. Fakülte binasında ikinci öğretim faaliyetlerinin olması nedeniyle ısıtma sistemi olarak günlük işletme süresi 16 saat uygulanmaktadır. Bu neden ile ısı kaybı hesabında bu süre dikkate alınmıştır. Hesaplama sonucunda binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve gerekli teorik yakıt miktarı (kömür ve doğalgaz) belirlenmiştir. Sonraki aşamada, teorik yakıt miktarı ile ilgili birimden elde edilen gerçek yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Termal Kamera Uygulaması

Kızıl ötesi görüntüleme, yüzey sıcaklığı iki yöntemle belirlenebilir. İlk yöntemde, sadece kamera ile odaklanan noktadaki sıcaklık değeri doğrudan belirlenir. İkinci yöntemde ise, görüntü renkleri ekranın sağ tarafındaki renk/sıcaklık kombinasyonu yapan gösterge çubuğu vasıtasıyla koyu renk soğuk olan bölgeyi, açık sarı renkli kısımlar ise sıcak olan bölgeyi gösterir ve bu şekilde bir görüntüde çoklu lokal sıcaklık değerlendirmesi veya karşılaştırması yapılabilir.

Belirtilen binanın ısı kayıp yerlerinin belirlenmesi amacıyla Fluke marka termal kamera cihazı (Fluke Ti110) kullanılarak dış yüzey sıcaklıkları ve muhtemel ısı kayıp alanları tespit edilmiştir. Bunun için binanın kış aylarında, farklı günlerde ve farklı saatlerde termal kamerayla periyodik olarak görüntüleri alınmıştır (Şekil 1). Uygulamada aynı anda aynı yüzeyin birden fazla termal görüntüsü alınıp içlerinden en net olanı kullanılmıştır. Ayrıca, aynı cihaz ile ısıtma sistemlerindeki kazan gidiş dönüş hatlarında bulunan sıcak su borularının yüzey sıcaklıklarının ölçümü yapılmıştır. İzole edilmiş boruların termal kamera görüntüleri alınarak yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu şekilde incelenen sıcak su boru hattında yalıtım hatası olup olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan termal kameranın teknik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir (Web, 2021).



Şekil 1. Termal Kamera ile Görüntü Elde Edilmesi

Tablo 4. Termal Kamera Cihazının Teknik Özellikleri

Cihazın markası	Fluke Ti110
Sıcaklık ölçüm aralığı	-20°C ile +250°C aralığı
Ekran çözünürlüğü	160x120 (19,200 pixel)
Minimum yakınlık mesafesi	15 cm
Termal hassasiyet	30°C’lik hedef sıcaklığında $\leq 0.10^\circ\text{C}$ hata payı
Yerleşik dijital kamera	2 megapixel
Resim karesi hızı	30 Hz veya 9 Hz versiyonlu
Koruma sınıfı	IP54
Batarya	Şarjlı versiyonda (AC), LED ekranda beş aşamalı kalan şarj göstergesi, cihaz şarj adaptörü ile veya harici şarj istasyonunda batarya şarj edilme, değiştirilebilir batarya
Tasarım	Pürüzlü, hafif ve tek el ile kullanım için ergonomik yapıda
Boyutlar	28.4 cm x 8.6 cm x 13.5 cm
Ağırlık (batarya dâhil)	0.73 kg

BULGULAR

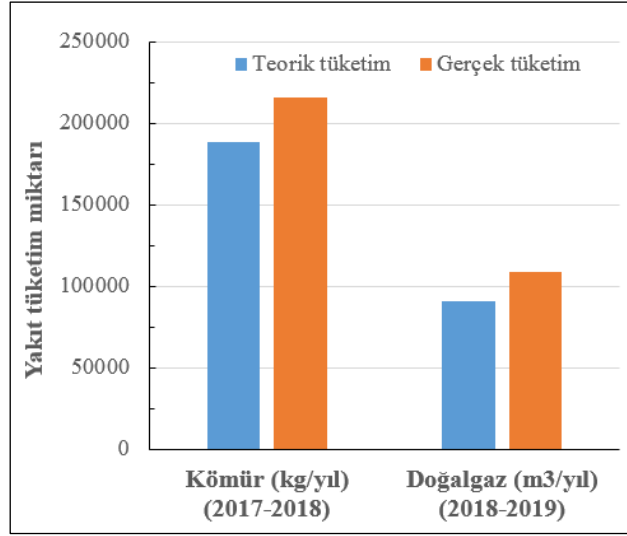
Fen Edebiyat Fakültesi binası için yapılan ısı enerjisi hesaplamaları sonucu elde edilen değerler Tablo 5’te verilmiştir. TS 825 standardına göre, binalardaki birim başına düşen yıllık ısı enerjisi ihtiyacı yine bu standartta belirtilen derece gün bölgelerine göre olması gereken maksimum ısı enerjisi ihtiyacını geçmemesi gerekmektedir. Tablo 5’te binanın birim kullanım alanı başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, olması gereken maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacından daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla binada uygulanmış olan ısı yalıtımı hesap metoduna uygun

değildir.

Tablo 5. Binanın Yıllık Toplam Özgül Isı Kaybı ve Isıtma Enerjisi İhtiyacı

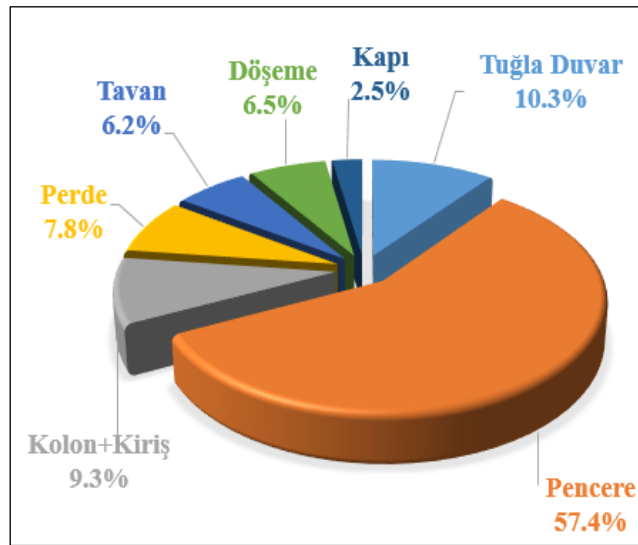
Toplam özgül ısı kaybı (W/°C)	17777
Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh)	1175047
Birim kullanım alanı başına ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m ²)	79.59
Birim kullanım alan başına olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m ²)	68.42

Binada ısıtma sezonları için hesaplanan teorik yakıt tüketim miktarı ile gerçek yakıt tüketim miktarları Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde yakıt türü olarak Kömürün kullanıldığı 2017-2018 ısıtma sezonunda gerçek tüketimin teorik tüketimden yaklaşık %12.81 oranında fazla olduğu belirlenmiştir. Yine yakıt türü olarak doğalgazın tüketildiği 2018-2019 sezonunda ise gerçek tüketimin teorik tüketimden %16.38 fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Binanın Yıllık Yakıt Tüketimi

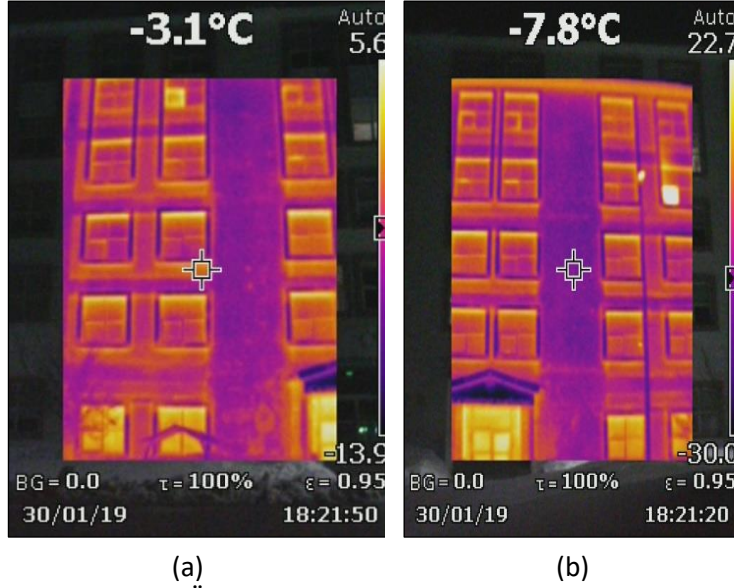
Şekil 3’de binanın yapı bileşenlerinde meydana gelen ısı kaybının oransal dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi bina bileşenlerinde en fazla özgül ısı kaybı %57.4 oranı ile pencerelerde gerçekleşmiştir. Isı kaybının pencerelerden sonra %10.3 oranında duvarlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. Yapı Bileşenlerinde Oluşan Isı Kaybı Oranları

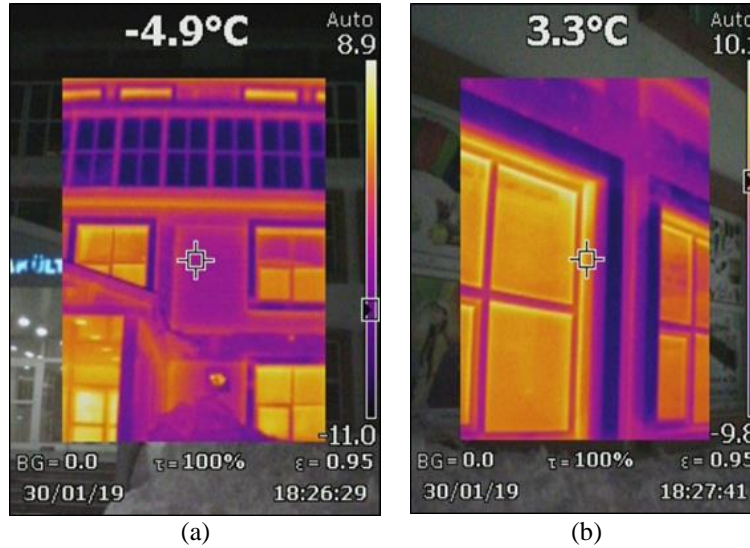
Şekil 4’de FEF binası ön dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekillerde, Koyu renkli kısımlar açık renkli kısımlara göre dış yüzey sıcaklığının düşük olduğu ısı kaybının az yaşandığı bölgelerdir. Bu görüntüler incelendiğinde, Şekil 4(a) ve 4(b)’de gösterilen açık sarı renkteki dış kapının yüzey sıcaklığının diğer yüzeylerden

çok daha büyük olduğu bu nedenle bu yapı elemanında önemsenerek büyüklükte ısı kaybının oluştuğu belirlenmiştir. Görüntülerde; pencerelerin altındaki duvar bölgelerinin yüzey sıcaklıklarının diğer duvar bölgelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, bu duvarların iç yüzeyinde bulunan radyatör peteklerinde, iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybıdır.



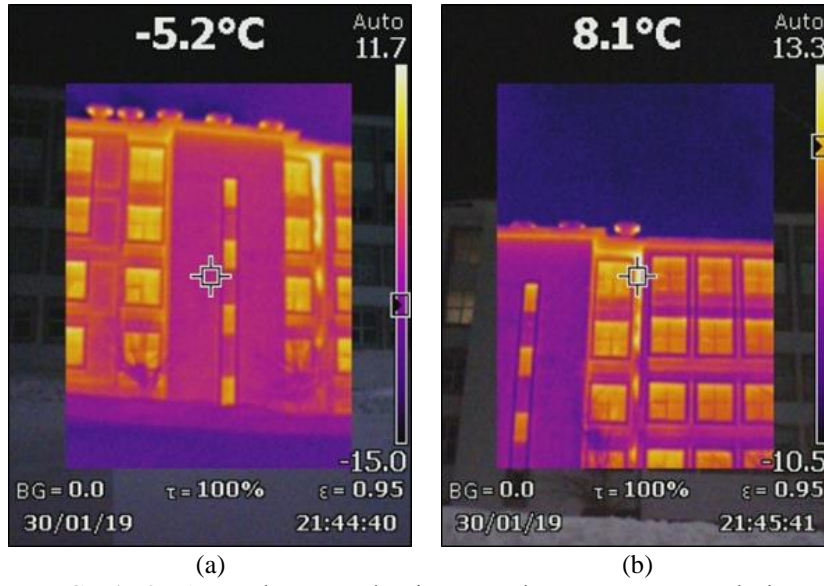
Şekil 4. Bina Ön Dış Cephenin Termal Kamera Görüntüleri

Şekil 5’de FEF binası arka dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 5(a)’deki görüntüde 2. katın bu cephesi teras kat olup ısıtılmamaktadır. Bu nedenle iç ortam sıcaklık değeri dış ortama yakın olduğu için ısı kaybının fazla oluşmadığı görülmüştür. Diğer katlardaki açık sarı renkli olan kapı ve pencereler ise ısı kaybının daha fazla olduğu bölgelerdir. Şekil 5(b)’ye bakarak, genel olarak binadaki tüm pencere kenarlarında da ısı kaçakları olduğu söylenebilir.



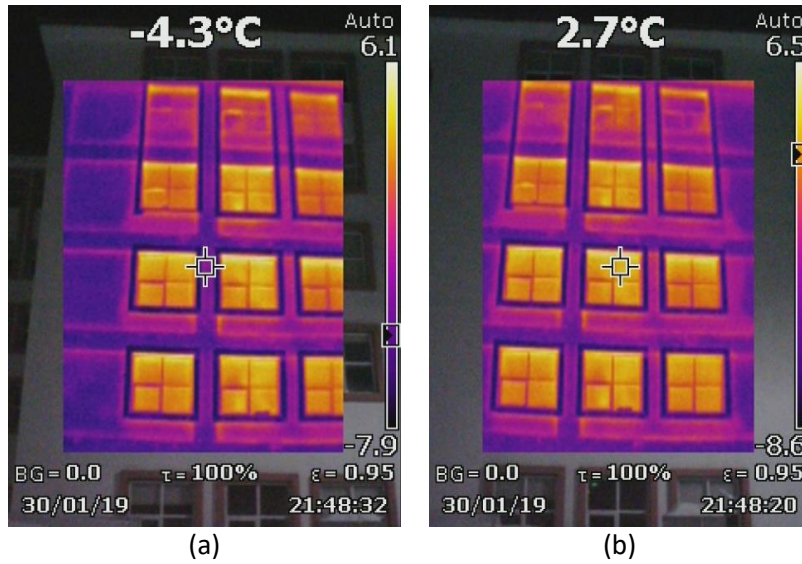
Şekil 5. Bina Arka Dış Cephenin Termal Kamera Görüntüleri

Şekil 6’de FEF binası sol dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, Şekil 6(a)’da iç mahallin ortam sıcaklığının düşük derecede ısıtılması nedeniyle (lavabo ve WC bölümü) belirtilen dış duvar yüzey sıcaklığı yaklaşık -5.2°C olarak ölçülmüştür. Şekil 6(b)’de belirtilen pencere kenar bitimi dış duvar yüzey sıcaklığı ise 8.1°C ’ye ulaşmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi pencere ile duvar birleşim yerlerinin ısı yalıtımının uygun bir şekilde yapılmadığı anlaşılmıştır. Sakarya ili Adapazarı merkez ilçesinde yapılan benzer bir çalışmada, termal kamera görüntülerinden incelenen binalarda uygulanan bazı yalıtımların TS 825’de belirtilen standartlara uygun olmadığı, yalıtımın kalifiye işçiler tarafından yapılması gerektiği belirtilmiştir (Demircan, 2020).



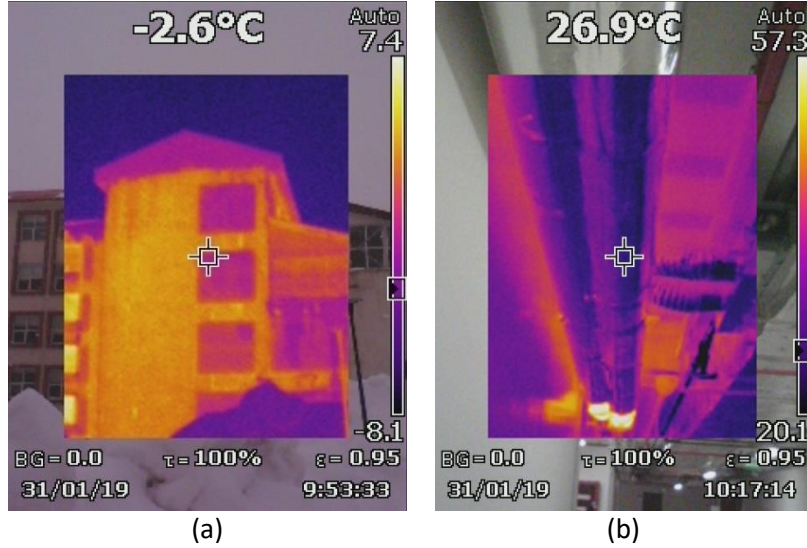
Şekil 6. Bina Sol Dış Cephenin Termal Kamera Görüntüleri

Şekil 7(a) ve Şekil 7(b)'de aynı binanın sağ dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde açık sarı renkli olan pencereler en fazla ısı kaybının olduğu bölgelerdir.



Şekil 7. Bina Sağ Dış Cephenin Termal Kamera Görüntüleri

Şekil 8(a)'da koyu renkli olan bölgelerde önceden pencereler bulunmaktaydı. Daha sonra pencereler kaldırılıp bu bölgeler tuğla duvar ile kapatılmıştır. Bu görüntüde, kapatılmış yerlerin renginin diğer duvar bölgelerinin rengine göre daha koyu olmasının nedeni, kapatılmış yerlerde daha kalın ve kaliteli izolasyon malzemesi kullanılmış olmasıdır. Şekil 8(b)'de ise binadaki ısıtma sisteminden çıkan sıcak su borularının termal görüntüsü verilmiştir. Burada, borunun şekil üzerinde belirtilen noktada dış yüzey sıcaklığının yaklaşık 27 °C olduğu, sıcak su borusu boyunca yüzeyin koyu renkte olduğu, herhangi bir açık rengin olmadığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar sıcak su borusu yüzeyi üzerinde herhangi bir izolasyon probleminin olmadığını, boru izolasyonunun iyi yapıldığını, sıcak su borularından çevreye olan ısı kaybının daha az olacağını göstermektedir.



Şekil 8. Binanın Sağ Dış Cephesi ve İçteki Sıcak Su Borularının Termal Kamera Görüntüleri

SONUÇ

Bu çalışmada, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi binasının ısıtma amaçlı kullanılan yakıt tüketim değerleri de dikkate alınarak termal görüntüleme cihazı kullanılarak ısı kaybına neden olan yapısal sorunlar ve yalıtım uygulanma verimliliği değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Mevcut bina için yapılan ısı kayıp hesaplamaları sonucu, yapı bileşenleri içerisinde en fazla ısı kayıplarının %57.4 oranında pencerelerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Binanın birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacından büyük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle mevcut binanın dış duvarlarında uygulanan ısı yalıtımının istenilen verimlilikte olmadığı, ısı yalıtım kalınlığının artırılması veya daha uygun yalıtım malzemesi kullanılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Binada ısıtma amaçlı kullanılan gerçek yakıt tüketiminin ısı hesaplamaları sonucu elde edilen teorik yakıt tüketimi değerlerinden yaklaşık %12-16 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum binada mevcut yalıtım uygulamasının iyi yapılmadığını göstermektedir.
- Bina dış duvarlarının termal kamera ile elde edilen kızıl ötesi görüntüleri incelenerek binadaki yalıtım uygulamalarının performansı değerlendirilmiştir. Özellikle yapı bileşenlerinden olan pencere ve dış kapılarda ısı kayıpların fazla olduğu, pencere çerçevelerinin duvar ile birleştiği yerlerin iyi derecede izole edilmediği, bazı dış duvar izolasyonlarının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu husus yukarıda ilk iki maddede verilen sonuçları da teyit etmektedir. Bu durum binada ısı kayıpların ve dolayısıyla ısıtma maliyetlerinin artacağı sonucunu göstermektedir.
- Sonuç olarak, ısı kayıplarını azaltarak ısıtma maliyetini düşürmek amacı ile mevcut binanın dış duvar, pencere ve dış kapılardaki yalıtım ve sızdırmazlık problemlerinin giderilmesi gerektiği önerilmektedir.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

η_{ay}	Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü
η_k	Kazan verimi [%]
ρ	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
$\phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ısı kazancı [W]
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı [W]
A	Yapı elemanı yüzey alanı [m^2]
A_{Top}	Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı [m^2]
BK	Bodrum katı
B_y	Yıllık yakıt tüketimi [kg, m^3]
c	Havanın özgül ısı [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
FEF	Fen Edebiyat Fakültesi

H_u	Yakıtın alt ısıl değeri [kJ/kg, kJ/m ³]
NK	Normal kat
n_h	Hava değişim oranı [h ⁻¹]
Q'	Yıllık ısıtma enerjisi maksimum sınır değeri [kWh]
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh]
Q_{Top}	Toplam özgül ısı kaybı [W/K]
Q_t	İletim ve taşınım ile oluşan özgül ısı kaybı [W/K]
Q_v	Hava sızıntısı ile oluşan özgül ısı kaybı [W/K]
$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh]
t	Zaman [s]
T_d	Aylık ortalama dış sıcaklık [°C]
T_i	Aylık ortalama iç sıcaklık [°C]
U	Toplam ısı geçiş katsayısı [W/m ² K]
V'	Hacimce hava değişim debisi [m ³ /h]
V_h	Isıtılan alan hacmi [m ³]
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi [m ³]

YAZARLARIN KATKISI

Bu çalışma, Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL danışmanlığında Ali ELHUYEYDİ tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdelhafiz, A., Balabel, A., Alwetaishi, M., Shamseldin, A., Issa, U., Sharaky, I., Al-Surf, M., & Al-Harhi, M. (2022). An Innovative Approach to Check Buildings Insulation Efficiency Using Thermal Cameras. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(5), 101740.
- Ateş, A.M., Kestane, Ö., & Ülgen, K. (2021). Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği. *Mühendis ve Makine*, 704(62):534-555.
- Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 154:21-35.
- Aytaç Gülten, A., & Aksoy, U.T. (2011). Kentsel Bir Alanda Isı Dağılımının Termal Görüntüleme Yöntemiyle İncelenmesi. *Engineering Sciences*, 6(4):1582-1589.
- Büyüктаş, K., Tezcan, A., Karaca, C., Gümüş, Z., & Çalışkan, R. (2019). Akdeniz Bölgesindeki Polietilen Örtülü Seraların Dolu Hasar Yoğunluğunun Termal Kamera İle Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24:135-141.
- Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A.N., Üstün, S., & Boyacı, S. (2016). Seralarda Isı Kaybına Neden Olan Yapısal Sorunların Termal Kamera ile Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(1):5-14.
- Demircan, H. (2020). Binalarda Meydana Gelen Isı Kayıplarının Termal Kamera Yöntemiyle Tespit Edilmesi (Adapazarı Örneği). *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 3(1):26-31.
- Elhuveydi, A. (2020). Enerji verimliliği bakımından Bitlis Eren Üniversitesi Kampüs Binalarının Enerji Etüdü. Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 103s.
- Genceli, O.F., & Parmaksızoğlu, İ.C. (2012). Kalorifer Tesisatı. İstanbul: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları No: MMO/352/7.
- Karagüzel, U. (2019). Ti6Al4V Alaşımının Talaşlı İmalatı Sırasında Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü ve Sonlu Elemanlarla Modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2):265-271.
- Karakoç, T.H. (2011). KTH Kalorifer Tesisatı Hesabı Verimli Sistemler. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Nisan Kitabevi Ders Kitapları Yayınları.

- Kotan, T., Fırat, İ., Kaya, M., & Ulusu, İ. (2018). Binalarda Kullanılan Farklı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenlik Katsayılarının Erzincan İli Şartlarında Termokupl ve Termal Kamera ile İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(2):367-381.
- Najjar, M.K., Figueiredo, K., Hammad, A.W., Tam, V.W., Evangelista, A.C.J., & Haddad, A. (2019). A framework to estimate heat energy loss in building operation. *Journal of Cleaner Production*, 235:789-800.
- Ocaña, S.M., Guerrero, I.C., & Requena, I.G. (2004). Thermographic Survey of Two Rural Buildings in Spain. *Energy and Buildings*, 36:515-523.
- Oral, F., & Elhuveydi, A. (2021). Bitlis İli Şartlarında Merkezi Isıtma Sisteminde Kullanılan Farklı Yakıt Türlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1):186-196.
- Rüşen, S.E., Topçu, M.A., Celep, G.K., Çeltek, S.A., & Rüşen, A. (2018). Üniversite Kampüs Binaları İçin Enerji Etüdü: Örnek Çalışma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2): 83-92.
- TSE. (2013). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Aralık 2013.
- Ünal, Ö., & Bayram, M. (2017, Nisan). Binalardaki Isı Kayıplarının Termal Kamera Ölçüm ve Görüntüleriyle Tespit Edilmesi Analizi ve Değerlendirilmesiyle İlgili Bir Çalışma. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan, İzmir.
- Web. (2021). <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-cameras/ti110>, Erişim tarihi: 02.11.2021.
- Zalewski, L., Lassue, S., Rouse, D., & Boukhalfa, K. (2010). Experimental and Numerical Characterization of Thermal Bridges in Prefabricated Building Walls. *Energy Conversion and Management*, 51:2869-2877.
- Zengin, M., Yılmaz, S., & Ertem Mutlu, B. (2019). Mekânsal Termal Konfor Açısından Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Termal Kamera Görüntülerinin Analizi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(3):239-247.