

Bitlis Eren Üniversitesi Kampüs Binalarının Isıtma Amaçlı Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Ali ELHUYEYDİ¹, Faruk ORAL^{2*}

Öz

Bu çalışmada, Bitlis Eren Üniversitesi merkez Rahva yerleşkesi kampüsünde eğitim faaliyetlerinin yürütüldüğü üç fakülte binasının ısıtma amaçlı enerji tüketim değerleri ortaya çıkarılarak enerji verimliliği incelenmiştir. Mevcut binalarda iç ortamların sıcaklık ve aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Binaların dış cephelerinin termal kamera görüntüleri alınmıştır. Sonuç olarak, tüm binalarda yapı bileşenleri arasında en büyük ısı kaybının pencerelerde meydana geldiği, doğalgazın kömüre göre daha ekonomik ve daha çevreci bir yakıt olduğu tespit edilmiştir. Mühendislik Fakültesi ve Fen Edebiyat Fakültesinde birim kullanım alanı başına ısıtma enerjisi ihtiyacının standart sınır değerini üzerinde olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümler, tüm binalarda iç ortam sıcaklık değerlerinin standart sınır değerini üzerinde olduğunu, ısıtma sistemlerinin yeterince verimli çalıştırılmadığını göstermiştir. Termal kamera görüntülerinden binaların dış cephelerinde ve bazı yapı bileşenlerinde yalıtım ve sızdırmazlık problemleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bina, Enerji analizi, Enerji verimliliği, Isı yalıtımı, Bitlis.

Evaluation of Energy Efficiency of Bitlis Eren University Campus Buildings for Heating Purposes

Abstract

In this study, energy efficiency was investigated by revealing the energy consumption values for heating purposes of the three faculty buildings where educational activities are carried out on the central Rahva campus of Bitlis Eren University. The temperature and illuminance levels of the indoor environments were measured in the existing buildings. Thermal camera images of the exterior facades of the buildings were taken. As a result, it has been determined that the biggest heat loss among the building components in all buildings occurs in the windows. Natural gas is a more economical and environmentally friendly fuel than coal. It has been observed that the heating energy requirement per unit usage area in the Faculty of Engineering and the Faculty of Arts and Sciences is above the standard limit value. The measurements have shown that the indoor temperature values in all buildings are above the standard limit value and the heating systems are not operated efficiently enough. Insulation and sealing problems were detected on the exterior of the buildings and some building components from the thermal camera images.

Keywords: Building, Energy analysis, Energy efficiency, Thermal insulation, Bitlis.

¹Rasus Kimya Temizlik ve Kozmetik, Küşget Sanayi Sitesi, Gaziantep, Türkiye, huveydiali@gmail.com

²Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye, foral@beu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-0607-3350>

²<https://orcid.org/0000-0002-4114-0785>

1. Giriş

Enerji ihtiyacı insanların yaşamlarını sürdürmede önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Artan enerji ihtiyacı, dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerjinin üretiminde ve tüketiminde oluşan çevre sağlığı problemleri, ülkeleri bu konuda yeni arayışlar, yeni düzenlemeler ve standartlar belirlemesine neden olmuştur. Tüm dünyada enerjinin etkin ve verimli kullanımı konusunda yapılan araştırmalar sonucunda yeni teknikler geliştirilerek uygulamaya konmuştur. Avrupa Birliğine üye ülkelerde, yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının kullanımı konusunda 2013-2017 yılları arasında özendirici destek planları (Tarife garantisi, prim garantisi, vergi teşviki gibi) uygulanmıştır (Akdoğan ve Kovancılar, 2022). Türkiye’de enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına yönelik birçok yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bunlardan bazıları, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Enerji Verimliliği Kanunu, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği gibi sıralanabilir.

Artan dünya nüfusu, insanların barınma ve yaşam alanı olarak kullandığı binalarda enerji tüketiminin artmasına neden olmuştur. Türkiye kullandığı enerjinin yaklaşık %75’ini ithal etmektedir (Vanlı, 2022). Türkiye’de binalarda tüketilen enerji toplam kullanılan enerjinin %33’ü kadardır. Bu enerjinin %75’i ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilmektedir. Bu oran gelişmiş ülkelere göre 3 ila 5 kat daha fazladır (Eruslu, 2022). Binalarda tüketilen enerjiyi ısı yalıtımı yaparak yaklaşık yarıya yakın oranda azaltmak mümkündür (Vanlı, 2022). Türkiye’de konutların yaklaşık %80 kadarı halen yalıtımsız durumdadır (Uzun, 2022). Bu nedenle Türkiye’de enerjiyi etkin ve verimli kullanmak, ısıtma ve soğutma amaçlı artan enerji maliyetlerini düşürmek için binaların yalıtımının yapılması önem arz etmektedir.

Türkiye’de Enerji Verimliliği Kanununa dayanak teşkil eden ve bu kanunun konut sektörüne uygulanmasını sağlayan Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılması, enerji israfını önleyerek tasarruf sağlanması ve çevre sağlığının korunması amacı ile çıkarılmıştır (TBMM, 2008). Bu yönetmelik; binaların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen sınır değerinin altında olmasını, yapı bileşenlerinin TS 825 standardına uygun olarak yalıtımlarının yapılmasını öngörmektedir.

Üniversiteler kuruldukları bölgelere, eğitim sektöründe, sosyal, kültürel, ekonomik ve fiziksel yapının iyileştirilmesinde önemli katkılar sunmaktadır. Üniversite kampüs binaları, öğrencilere ve bilimsel çalışma yapmak isteyen araştırmacılara imkânlar sunan, içerisinde farklı işleri yürüten personelleri barındıran, sürekli faaliyet gösteren eğitim kurumlarıdır (Rüşen ve ark., 2018). Üniversite yerleşkesinde kullanılan binaların sayıca fazla olması, binaların donanımsal ve fiziksel bakımdan farklılık göstermesi, buralarda yapılan faaliyetlerin çeşitlenerek artmasına, sonuçta enerji tüketiminin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle enerjinin etkin ve verimli kullanılması, enerji tüketimi

azaltılarak enerji israfının önüne geçilmesi bakımından üniversite yerleşkesindeki binaların incelenerek enerji verimliliğini artırıcı çözümlerin ortaya konması gerekmektedir.

Üniversite binalarında enerji verimliliği ve tasarrufu konusu ile ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Deshko ve Shevchenko (2013), Ukrayna'daki üniversite kampüslerinin enerji performanslarının tahmin edilmesi ve enerji sertifikasyon sistemi oluşturulması için ölçülebilir bir yaklaşım geliştirme konusu araştırmışlardır. Çalışmada, kampüs verilerine yönelik araçsal yaklaşıma dayanan sertifika varyantı önerilmiş ve analiz edilmiştir. Analizde, enerji tüketimi, hava ve iklim koşulları, üniversite kampüslerinin çalışma parametreleri dikkate alınmıştır. Sonuçta, önerilen yaklaşımın üniversite kampüslerinin enerji performansının belirlenmesinde ve enerji verimliliğinin karşılaştırmasında sertifika kullanımına imkân tanıdığı belirtilmiştir. Guan ve ark. (2016), üniversite kampüs binalarında enerji planlamasını araştırmışlardır. Çalışmada, kampüs binalarının talep yükü ve enerji kullanım özelliklerini ortaya koyan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaç ile bir vaka çalışması olarak, Norveç'te bir üniversite kampüsünün elektrik, ısıtma ve su kullanımına ilişkin verilerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Sonuçta, binalardaki enerji ve su tüketim farklılıklarının binaların kullanım özelliklerinden kaynaklandığı, enerji ve su tüketiminin fazla olduğu binaların daha büyük tasarruf potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Ostojić ve ark. (2016), Hırvatistan'da bir fakülte binasının enerji analizi ve yenileme stratejisini araştırmışlardır. Çalışmada fakülte binasına ait enerji denetimi ve sertifikasyon sonuçları sunulmakta, enerji verimliliği üzerine iyileştirmeler önerilmektedir. Sonuç olarak, ısıtma, karbon emisyonu azalımı ve yatırımın geri dönüş süresi için enerji hesaplamaları yapılarak enerji verimliliği bakımından bina için en uygun iyileştirme önlemleri belirlenmiştir. Rüşen ve ark. (2018), çalışmalarında Türkiye'de bulunan bir üniversitenin kampüs binalarının enerji etüdünü ve tasarruf potansiyelini incelemişlerdir. Sonuç olarak incelenen üniversitede %18 oranında enerji tasarruf potansiyelinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmaya konu olan üniversite için verimlilik artırıcı projeler önerilmiştir. Yurdakul ve ark. (2019), çalışmalarında Türkiye'de bir üniversiteye ait üç fakülte binası dersliklerinin iç çevre kalitesi bakımından incelemişlerdir. Sonuçta mühendislik ve hukuk fakültesi binaları ısıtma sistemlerinin yeterince verimli çalıştırılmadığını belirtmişlerdir. Ateş ve ark. (2021), Türkiye'de bir Meslek Yüksekokulu binasının enerji tasarruf potansiyelini araştırmışlardır. Sonuçta mevcut binada %40 oranında enerji tasarruf potansiyelinin olduğunu belirtmişlerdir. Günkaya ve ark. (2021), çalışmalarında bir üniversite binasında enerji tasarrufu seçeneklerinin çevresel performans üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak enerji tasarrufu seçeneklerinden dış cephe yalıtımı ve ısıcam uygulamalarının çevre performansı üzerinde olumlu etkilerini oransal olarak belirlemişlerdir.

Bu çalışmada kış mevsiminin uzun, yoğun kar yağışı ve soğuk iklim şartlarında geçmesi nedeniyle bina ısıtma maliyetinin fazla olduğu Bitlis Eren Üniversitesi Rahva merkez yerleşkesinde yer alan üç fakültenin enerji verimliliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında fakültelerin ısı kaybı,

ısıtma enerjisi ihtiyacı, binaların ısıtılmasında kullanılan yakıt tüketimi ve maliyetleri, yakıt tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyon miktarları belirlenerek binalarda yapılan iç ortam sıcaklık ölçümleri ve termal kamera görüntüleri kullanılarak enerji verimliliği, bina yalıtımlarının uygunluğu, TS 825 standart sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmaya konu olan Bitlis Eren Üniversitesi kampüsü, il merkezinin yeni yerleşim yeri içinde Rahva yerleşkesinde bulunmaktadır. Kışları uzun ve yoğun kar yağışı ile geçtiği Bitlis ili, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre 4.derece gün bölgesi içinde yer almaktadır (TSE, 2013). Isı enerjisi kayıpları ve emisyon değerlerinin belirlenmesi, enerji verimliliği bakımından incelenmesi için; belirtilen kampüs alanı içinde yer alan, aktif eğitim öğretim faaliyetinde olan Fen Edebiyat Fakültesi (FEF), Mühendislik Mimarlık Fakültesi (MMF) ve İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (İİBF) hizmet binaları çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma sahası; 42.16229227°- 42.16505065°E; 38.48109518°- 38.47772061°N koordinatları arasında olup 1795 m rakımındadır. İncelenecek binalara ait bilgiler Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir (Elhuveydi, 2020).



Şekil 1. Çalışma sahasının uydu fotoğrafı ve resmi (URL-1; URL-2).

Fakülte binalarının mimari proje detayları ve yapı elemanlarının ısı geçiş katsayı değerlerinin hesaplanması ile ilgili bilgiler için ilgili referansa bakılabilir (Elhuveydi, 2020). Çalışmada binalara ait bilgiler ve ısıtmada kullanılan kömür ve doğalgaz tüketim değerleri Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğünden temin edilmiştir. İnceleme kapsamındaki ilgili binaların enerji verimliliği kapsamında değerlendirilmesi için çeşitli ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Tablo 1. Binalara ait bilgiler.

Özellikler	MMF	FEF	İİBF
Bina durumu	Ayrık nizam	Ayrık nizam	Ayrık nizam
Kat adedi	6 (2BK+1ZK+3NK)	6 (2BK+1ZK+3NK)	6 (1BK+1ZK+4NK)
Pencereler	Tüm binalar için aynı, plastik doğramalı, çift cam		
Binanın eni (m)	41.00	41.00	21.90
Binanın boyu (m)	84.20	83.20	84.60
Kat yüksekliği (m)	3.63	3.30	3.55
Toplam ısıtılan alan (m ²)	11342	10541	8781
Brüt hacim (m ³)	53170	49228	46993

Tablo 2. Bina yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayı değerleri (W/m²K).

Yapı elemanı tipi	MMF	FEF	İİBF
Dış havaya açık tuğla duvar	0.358	0.358	0.339
Dış havaya açık kolon-kiriş donatısı	0.769	0.794	0.546
Dış havaya açık perde duvar	0.847	0.847	0.558
Toprak temaslı kolon-kiriş donatısı	0.531	0.531	0.531
Toprak temaslı perde duvar	0.560	0.560	0.542
Isıtılmayan iç ortam ile bitişik tuğla duvar	0.347	0.347	0.328
Üstü çatılı tavan	0.247	0.247	0.288
Toprak temaslı taban	0.414	0.414	0.315
Dış pencere	2.9	2.9	2.9
Dış kapı	5.5	5.5	5.5

2.1. Matematiksel Metot

Binalarda insan ve diğer canlıların yaşamsal faaliyetlerini sağlıklı bir şekilde sürdürmeleri için çevre sıcaklığının düşük olduğu zamanlarda ısıtılması gerekmektedir. Bu amaç ile binanın ısı kaybının hesaplanarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir. Bir binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, ısıtma sezonu süresince hesaplanan toplam ısı kaybından ısı kazançlarının çıkarılmasıyla belirlenir (Ateş ve ark., 2021). Binalarda ısı kaybı iç ortam ile çevre arasında oluşan sıcaklık farkı sonucu kapı, pencere, duvar, döşeme, zemin, tavan gibi yapı elemanlarında oluşur. Bir mahallin özgül ısı kaybı (Q), iletim ve taşınım sonucu oluşan özgül ısı kaybı (Q_T) ile hava sızıntısı sonucu oluşan özgül ısı kaybının (Q_V) toplamına eşittir (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2012). İletim ve taşınım ile oluşan özgül ısı kaybı, mahalli çevreye yapı elemanlarında meydana gelen kayıplarının toplamına eşittir (TSE, 2013; Najjar ve ark., 2019).

$$Q = Q_T + Q_V \quad (1)$$

$$Q_T = \sum U A \quad (2)$$

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

Eşitliklerde, U ($W/m^2 K$) ısı geçirgenlik katsayısını, A (m^2) yapı elemanının yüzey alanını, ρ (kg/m^3) havanın yoğunluğunu, c ($J/kg K$) havanın özgül ısısını, V' (m^3/h) hacimce toplam hava değişim debisini, n_h (h^{-1}) hava değişim oranını, V_h (m^3) havalandırılan hacmi ifade etmektedir.

Bir binanın ısı kaybı, binadaki tüm mahallerde oluşan ısı kayıpların toplamı ile belirlenir. Bir binanın aylık ısı ihtiyaçlarının (Q_{ay}) toplamı ile yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) hesaplanır. Aylık ısı ihtiyacı, aylık ısı enerjisi kayıplarından ısı kazançlarının (iç ve güneş enerjisi) çıkarılması ile Q_{ay} bulunur (TSE, 2013).

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (4)$$

$$Q_{ay} = \left[Q(T_i - T_d) - \eta_{ay} (\phi_{iay} + \phi_{say}) \right] t \quad (5)$$

Eşitliklerde aylık ortalama olarak, η_{ay} kazançlar için kullanım faktörünü; ϕ_{iay} iç kazançları; ϕ_{say} güneş enerjisi kazancını; T_i ($^{\circ}C$) iç sıcaklığını; T_d ($^{\circ}C$) dış sıcaklığını ve t zamanı ifade etmektedir. Bu çalışmada aylık ortalama dış sıcaklık ve aylık ortalama güneş enerjisi kazancı değerleri Bitlis Meteoroloji İstasyonundan elde edilmiştir.

Isıtma sezonu süresince bir binanın tükettiği yakıt miktarı B_y (kg veya m^3) ile binanın yıllık yakıt tüketim maliyeti M_y , aşağıda verilen eşitliklerle ifade edilebilir (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2012; Oğuz ve Kırmacı, 2015).

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

$$M_y = B_y C_{fy} \quad (7)$$

Bu eşitliklerde, η_k % kazanın verimini, H_u kullanılan yakıtın alt ısı değerini (kJ/kg veya kJ/m^3) ve C_{fy} ise yakıtın birim fiyatını göstermektedir. Binada ısıtma sezonlarında kullanılan yakıtların alt ısı değeri, kazan verimi ve yakıtların birim fiyatı Tablo 3'de verilmiştir (Karakoç, 2011; URL-5; URL-6). Bu çalışmada kullanılan yakıtların birim fiyatları 2019-2020 yılı dikkate alınarak düzenlenmiştir.

Tablo 3. Kullanılan yakıtlara ait bilgiler.

Yakıt türü	Yakıtın Alt Isıl Değeri (H_u)	Yakıt Birim Fiyatı	Kazan Verimi (η_k) (%)
Linyit kömür	23020 (kJ/kg)	1.6520 (TL/kg)	0.60-0.65
Doğalgaz	34535 (kJ/m^3)	1.8526 (TL/ m^3)	0.85-0.92

TS 825 standardına göre ilgili binalar için hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı, binaların bulunduğu derece gün bölgesi için verilen en büyük sınır değerini aşmaması gerekmektedir (Ateş ve ark., 2021; TSE, 2013). Bu standarda göre yıllık ısıtma enerjisinin en büyük sınır değeri (Q'), dördüncü derece gün bölgesi için aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (TSE, 2013).

$$Q' = 82.5 \left(\frac{A_{Top}}{V_{brüt}} \right) + 50.7 \quad (8)$$

Eşitlikte, A_{Top} (m^2) binanın toplam ısı kaybeden yüzey alanını, $V_{brüt}$ (m^3) binanın ısıtılan brüt hacmini ifade etmektedir.

Binaların ısıtılmasında kullanılan yakıtların yanması sonucu açığa çıkan baca gazlarının önemli bir miktarı CO_2 (yaklaşık %85) emisyonundan oluşmaktadır. Bu nedenle yanma sonucu oluşan baca gazlarının hesaplanmasında büyük çoğunluğu temsil eden CO_2 emisyonu dikkate alınmaktadır (Oğuz ve Kırmacı, 2015). Binanın ısıtılmasında kullanılan yakıtların oluşturduğu baca gazı emisyonunun belirlenmesinde, kullanılan yakıt türüne göre emisyon dönüşüm katsayısı (EDK) kullanılabilir. Tablo 4'de bu çalışmada kullanılan yakıt türlerinin emisyon dönüşüm katsayıları verilmiştir (TBMM, 2008; Oğuz ve Kırmacı, 2015).

Tablo 4. Yakıt türlerinin CO_2 emisyon dönüşüm katsayıları.

Yakıt Türü	Emisyon dönüşüm katsayısı (kg eşd. CO_2 /kWh)
Linyit Kömür	0.433
Doğalgaz	0.234

Bir binanın ısıtma sezonu boyunca tükettiği yakıt miktarı ve kullanılan yakıtın emisyon dönüşüm katsayısına göre açığa çıkan CO_2 emisyon miktarı B_{CO_2} (kg), aşağıda verilen eşitlik ile belirlenebilir (Oğuz ve Kırmacı, 2015).

$$B_{CO_2} = 0.278 \cdot 10^{-3} B_y H_u EDK \quad (9)$$

MMF, FEF ve İİBF binalarının ısıtma yılları süresince ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanarak bulunmuştur. Binalarda kullanılan ısıtma sistemlerinin günlük işletim süresi 16 saat uygulanması nedeniyle ısı kaybı hesaplamalarında bu süre dikkate alınmıştır. Binalar için belirlenen ısıtma enerjisi ihtiyacı, TS 825 standardına göre olması gereken sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre gerekli teorik yakıt tüketim miktarları, bu yakıtların birim maliyet değerleri ile açığa çıkan CO_2 emisyonu belirlenmiştir. Hesaplanan teorik yakıt miktarı ile gerçek yakıt tüketimi karşılaştırılmıştır.

2.2. Ölçüm ve Uygulama

Son yıllarda farklı mühendislik uygulamalarında oluşan problemlerin tespitinde termal kameralar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Elhuveydi ve Oral, 2022). Bu çalışmada seçilen binalarda muhtemel ısı kayıp alanların belirlenmesi ve ısı kaybına neden olan yapısal problemlerin (hatalı ısı yalıtım uygulaması gibi) tespiti amacıyla teknik özellikleri Tablo 5’de verilen Fluke marka termal kamera cihazı kullanılmıştır (URL-3). Bu cihaz ile binaların farklı dış cephelerinin farklı gün ve saatlerde görüntüleri alınarak incelenmiştir. Ayrıca termal görüntü çekimlerinde FEF binasının bodrum katında bulunan ısıtma sistemi ana dağıtım borularının diğer binalara göre daha elverişli durumda olması nedeniyle temel çalışma alanı olarak bu bina seçilmiştir. FEF binasının ısıtma sisteminde kullanılan sıcak su boru hattının termal kamera görüntüleri alınarak ısı yalıtım verimliliği bakımından değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Termal kamera cihazının teknik özellikleri.

Cihazın marka ve modeli	Fluke Ti110
Sıcaklık ölçüm aralığı	-20°C ile +250°C aralığı
Ekran çözünürlüğü	160 x 120 (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 versiyon (AC), LED ekranda beş aşamalı kalan şarj göstergesi, cihaz şarj adaptörü ile veya harici şarj istasyonunda batarya şarj edilme, değiştirilebilir batarya
Boyutlar	28.4 cm x 8.6 cm x 13.5 cm
Ağırlık (batarya dâhil)	0.73 kg

Eğitim binasında kullanılan sınıf, ofis ve diğer alanların iç ortam sıcaklıkları ölçülerek kullanıcılar için ısı konfor şartını sağlayan standart değere (TS 825’e göre öğretim binaları için 20°C) göre karşılaştırılmıştır. Bu ölçüm ile binada kullanılan ısıtma sisteminin verimliliği, iç ortam sıcaklık düzeyinin ısı konfor şartını sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. MMF binasında aktif sınıf sayısının daha fazla olması nedeniyle (öğrenci sayısının diğer fakültelere göre fazla olması, binada ikinci öğretim faaliyetlerinin yürütülmesinden dolayı) bu binada daha fazla ölçüm yeri seçilmiştir. MMF binasında mahal konumunun (kuzey ve güney cepheler, zemin, ara ve son katlar, bir ve iki yönde dış ortamlarla temaslı mahaller gibi) ısı kaybı ve kazancı bakımından sağladığı olumlu ve olumsuz faydalar dikkate alınarak ölçüm yerleri çeşitlendirilerek seçilmiştir. Ölçüm yapmak üzere MMF hizmet binasında 23 ayrı noktada farklı katlardan (bodrum, zemin, 1, 2 ve 3. katlar) 12 ofis, 5 sınıf, 2 laboratuvar, 3 koridor ve 1 kantin seçilmiştir. FEF binasında 4 ofis, 2 sınıf ve 2 koridor olmak üzere 8 ayrı ölçüm yeri seçilmiştir. İİBF binasında ise 6 ofis, 2 sınıf, 1 laboratuvar, 2 koridor ve 1 kantin olmak üzere 12 ayrı ölçüm yeri seçilmiştir. İç ortam sıcaklıkları, özellikleri Tablo 6’da verilen Testo

435-2 marka çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ve bu cihazın IAQ probu kullanılarak yapılmıştır (URL-4). Seçilen yerlerin sıcaklık değerleri, günün farklı saatlerinde, ortamın farklı noktalarında yapılan sıcaklık ölçümlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazının teknik özellikleri.

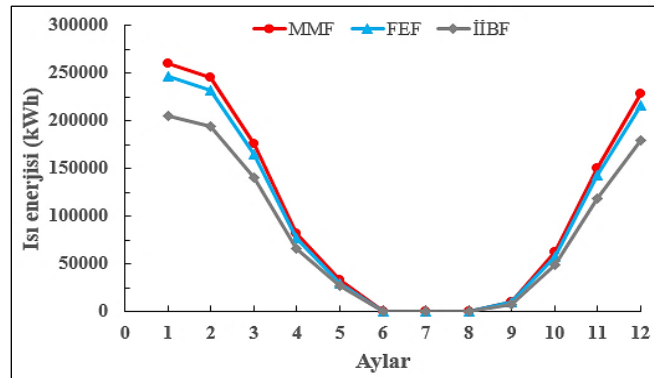
Marka ve model	Testo 435-2
Çalışma sıcaklığı	-20 ile +50 °C arasında
Malzeme/Gövde	ABS/TPE/Metal
Koruma sınıfı	IP54
Batarya tipi	Alkali mangan, mignon, AA tipi
Batarya ömrü	200 saat (tipik kanat ölçümü)
Depolama sıcaklığı	-30 ile +70 °C arasında
Boyutlar	220 x 74 x 46 mm
Ağırlık	428 gr
Sıcaklık ölçüm aralığı	-50 ile +150 °C
Işık yoğunluğu ölçüm aralığı	0 ile +100000 Lüks

3. Araştırma Bulguları

Seçilen binalar için yapılan ısı kaybı hesaplamalarında elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Isı kaybı hesaplamaları ile ilgili detaylı bilgiler için ilgili referansa bakılabilir (Elhuveydi, 2020). Tablo 7 incelendiğinde tüm binaların havalandırma ile gerçekleşen özgül ısı kayıplarının iletim ve taşınım ile gerçekleşen özgül ısı kayıplarından fazla olduğu görülmektedir. En büyük özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı MMF binasında, en az ısı kaybı ve ısıtma enerjisi ihtiyacı ise İİBF binasında olmuştur. Binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının aylara göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 7. Binaların yıllık toplam özgül ısı kaybı ve ısıtma enerjisi ihtiyacı.

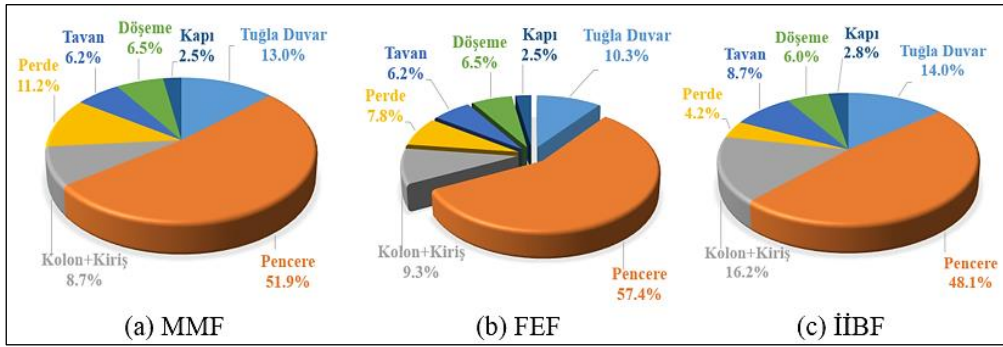
	MMF	FEF	İİBF
İletim ve taşınım ile gerçekleşen özgül ısı kaybı (W/°C)	7417	7380	4892
Havalandırma ile gerçekleşen özgül ısı kaybı (W/°C)	11230	10397	9925
Toplam özgül ısı kaybı (W/°C)	18647	17777	14817
Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh)	1246286	1175047	987520



Şekil 1. Isıtma enerjisi ihtiyacının aylara göre değişimi.

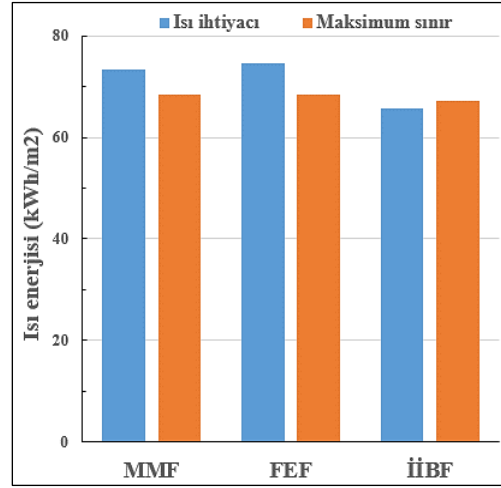
Şekil 2 incelendiğinde bütün binalar için en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı Ocak ayında olduğu görülmüştür. Ocak ayında en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı 260311 kWh olarak MMF binasında olmuştur. Binaların Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 3’de (a, b ve c) mevcut binaların yapı bileşenlerinde oluşan ısı kaybının oransal dağılımı gösterilmiştir. Tüm binalar için en büyük özgül ısı kaybı oranı pencerelerde gerçekleşmiştir. Mevcut binaların pencerelerinde oluşan özgül ısı kayıplarında en büyük oran FEF binasında %57.4 oranında gerçekleşmiştir. Pencerelerden sonra özgül ısı kaybı oranı en fazla tuğla duvar bileşeninde olduğu belirlenmiştir.



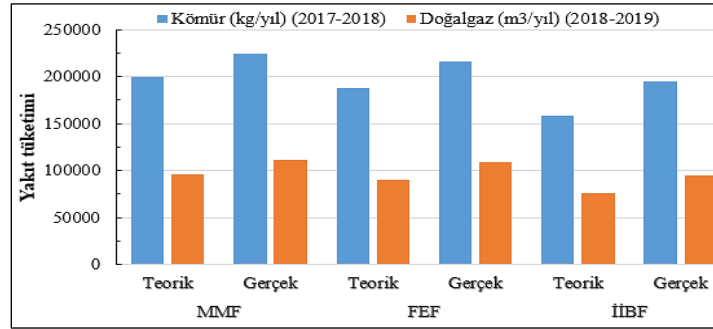
Şekil 3. Binaların yapı bileşenlerinde oluşan özgül ısı kayıplarının oransal dağılımı.

Şekil 4’de binaların birim kullanım alanı başına ısıtma enerjisi ihtiyacı ile olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı verilmiştir. Birim kullanım başına en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı 74.59 kWh/m² değerinde FEF binasında, en düşük ise 65.67 kWh/m² ile İİBF binasında olmuştur. FEF ve MMF binalarının ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük sınır değerlerinden (FEF için sınır değer 68.42 kWh/m², MMF için 68.34 kWh/m²) daha fazla gerçekleşmiştir. Bu durumun FEF ve MMF binalarında uygulanan yalıtımın standartları karşılamaması ve yalıtım uygulamalarında yapısal problemlerin olması sonucu her iki binada ısı kayıplarının artmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İİBF binasının ısıtma enerjisi ihtiyacı ise olması gereken en büyük sınır değerinden (İİBF binası için sınır değer, 67.3 kWh/m²) daha düşüktür. Dolayısıyla İİBF binasında uygulanan ısı yalıtımının TS 825 standardına uygun olduğu görülmüştür. FEF ile MMF binalarında oluşan ısı kayıplarının İİBF binasından daha fazla olması bu durumu açıklamaktadır (Tablo 7).



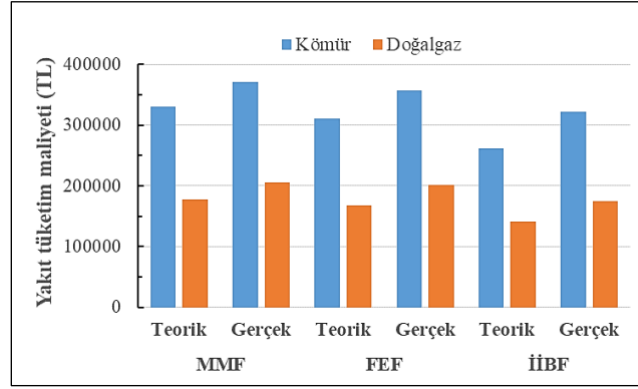
Şekil 4. Birim kullanım alanı başına ısıtma enerjisi ihtiyacı ve sınır değeri.

Hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre binalarda kullanılan yakıt türlerine göre ısıtma sezonu için gerekli teorik yakıt tüketim miktarları ile Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğünün resmi kayıtlarından alınan gerçek yakıt tüketimi değerleri Şekil 5’de verilmiştir.

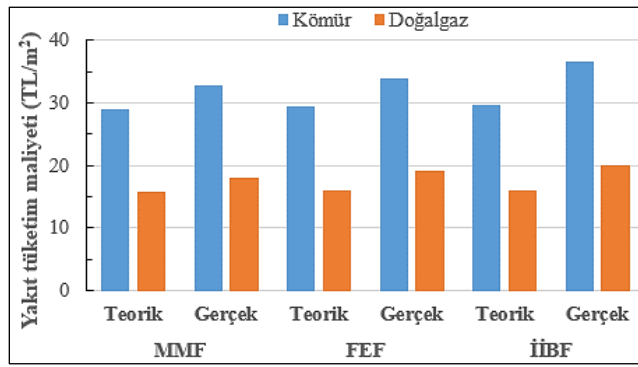


Şekil 5. Yakıt tüketim miktarları.

Şekil 5 incelendiğinde, tüm binalarda kömür ve doğalgaz yakıtlarında gerçek tüketimin teorik tüketimden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Gerçek tüketimin teorik tüketimden fazla olmasında, bazı yapı bileşenlerinde ve yalıtım uygulamalarında yapısal problemlerin olmasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Kömür yakıtı için en büyük teorik ve gerçek tüketim değeri MMF binasında, en düşük teorik ve gerçek tüketim değeri ise İİBF binasında olmuştur. Kömür yakıtı tüketimi MMF binasında gerçek 225000 kg/yıl, teorik 199739 kg/yıl, İİBF binasında ise gerçek 195000 kg/yıl, teorik 158267 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir. Doğalgaz yakıtı için en düşük teorik ve gerçek tüketim İİBF binasında, en büyük teorik ve gerçek tüketim değeri ise MMF binasında olmuştur. Doğalgaz yakıtı gerçek tüketimi İİBF binasında 94537 m³/yıl, MMF binasında ise 111083 m³/yıl olarak bulunmuştur. Tablo 7’de görüldüğü gibi en az ısıtma enerjisi ihtiyacı İİBF binasında, en fazla ise MMF binasında olması bu durumu teyit etmektedir. Şekil 6’da mevcut binaların teorik ve gerçek yakıt tüketim maliyetleri, Şekil 7’de ise birim kullanım alanı başına yakıt tüketim maliyetleri verilmiştir.



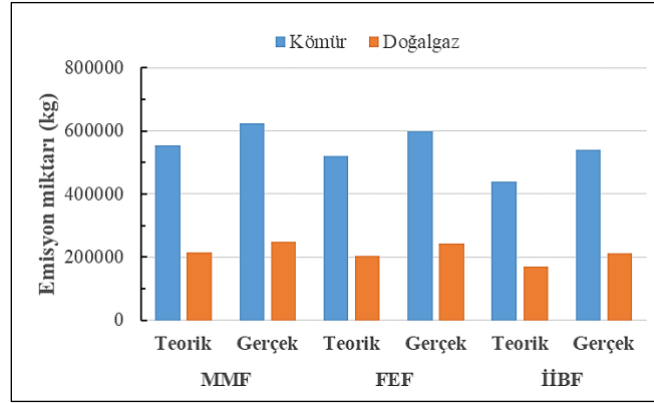
Şekil 6. Yakıt tüketim maliyetleri.



Şekil 7. Birim kullanım alanı başına yakıt tüketim maliyetleri.

Şekil 6 ve Şekil 7’de ısıtma sezonlarında kullanılan yakıtların tüketimi sonucu oluşan maliyetler değerlendirildiğinde, tüm binalarda kömür ve doğalgaz yakıtları için gerçek tüketim maliyetinin teorik tüketim maliyetinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, teorik ve gerçek en düşük maliyet doğalgaz yakıtının kullanılmasıyla İİBF binasından, en büyük maliyet ise kömür yakıtı ile MMF binasında olmuştur. Kömür ve doğalgaz yakıtları için en büyük teorik ve gerçek tüketim maliyeti MMF binasında, en düşük teorik ve gerçek tüketim maliyeti ise İİBF binasında olmuştur. Tüm binalar için doğalgaz yakıtının gerçek ve teorik maliyeti kömür yakıtından daha düşük çıkmıştır. Doğalgaz yakıtının ısı değerinin ve kazan verimlerinin kömürden daha fazla olması maliyetlerinin daha düşük olmasına neden olmuştur (Tablo 3). Yapılan bir çalışmada Bitlis ilinde merkezi ısıtma sistem için kullanılan yakıtlar içinde en ekonomik ve en çevreci yakıt türünün doğalgaz olduğu belirtilmiştir (Oral ve Elhuveydi, 2021). Kömür yakıtında en düşük gerçek maliyet 322140 TL ile İİBF binasında, en yüksek maliyet ise 371700 TL ile MMF binasında olmuştur. Doğalgaz yakıtında en düşük gerçek maliyet 175139 TL ile İİBF binasında, en yüksek maliyet ise 205792 TL ile MMF binasında gerçekleşmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, kömür ve doğalgaz yakıtlarında birim alan başına teorik ve gerçek en yüksek maliyet İİBF binasında en düşük maliyet ise MMF binasında görülmüştür. Tüm binalarda doğal gaz yakıtının birim alan başına maliyeti kömür

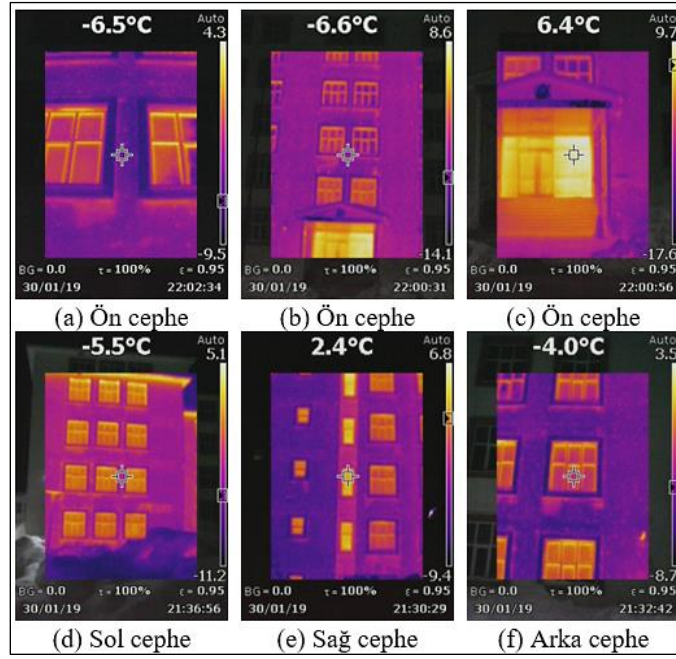
yakıtından daha düşük olmuştur. En düşük gerçek maliyet MMF’de kömür yakıtında 32.77 TL/m², doğalgaz yakıtında 18.14 TL/m² olarak bulunmuştur. En yüksek gerçek maliyet İİBF’de kömür yakıtında 36.69 TL/m², doğalgaz yakıtında 19.95 TL/m² olarak bulunmuştur. Şekil 8’de ısıtma sezonlarında yakıt tüketimi sonucu oluşan emisyon miktarı verilmiştir.



Şekil 8. Yakıt tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyonu.

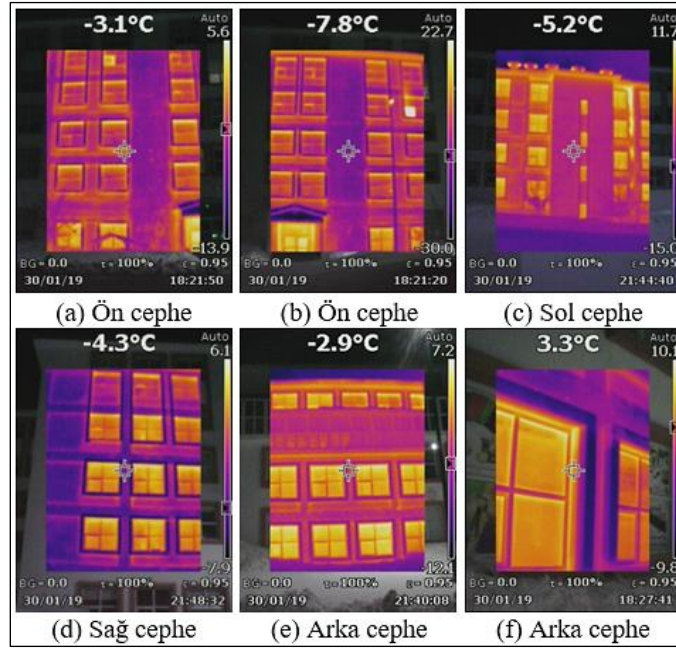
Şekil 8’de verilen CO₂ emisyon grafiği incelendiğinde, gerçek emisyon değerlerinin teorik emisyon değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Doğalgaz yakıtının teorik ve gerçek emisyon değerleri kömür yakıtından daha düşük olarak gerçekleşmiştir. En düşük emisyon değeri İİBF binasında, en yüksek emisyon değeri ise MMF binasında meydana gelmiştir. İİBF binasında kömür yakıtının kullanılmasıyla gerçek emisyon değeri MMF’ne göre %13, FEF’ne göre ise %10 daha düşük olmuştur. Doğalgaz yakıtında İİBF binasında oluşan CO₂ emisyonu MMF’ne göre %15, FEF’ne göre ise %13 daha düşük gerçekleşmiştir. İİBF binasında gerçek emisyon teorik emisyonla göre kömürde %23, doğalgazda ise %24 daha fazla olmuştur.

Şekil 9’de MMF binasının farklı dış cephelerden çekilmiş termal kamera görüntüleri verilmiştir. Termal kamera görüntülerinde, koyu renkli kısımların dış yüzey sıcaklıkları açık renkli kısımlara göre daha düşüktür. Bu nedenle çevreye olan ısı kaybı açık renkli yüzeylerden daha fazla, koyu renkli kısımlarda ise daha düşük olmaktadır.



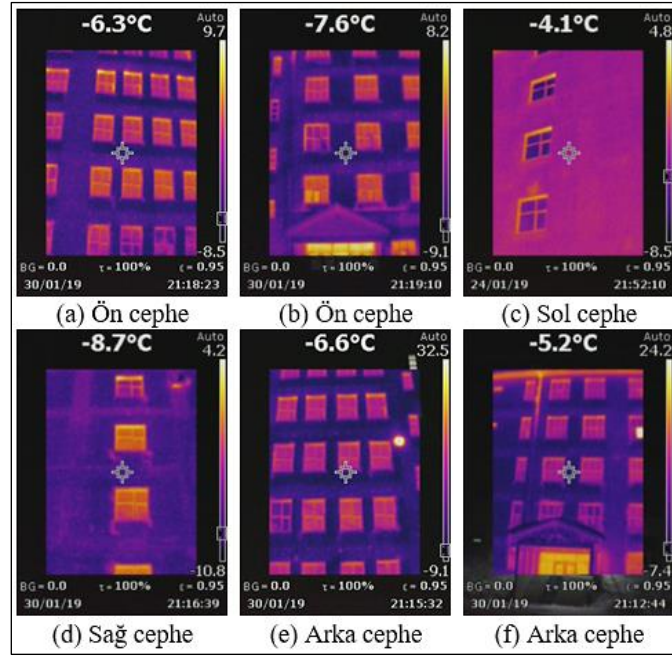
Şekil 9. MMF binasının termal kamera görüntüleri.

Şekil 9’da görüleceği gibi binanın tüm cephelerinde bazı yapı bileşenlerinin yüzey sıcaklıklarının diğer kısımlara göre daha fazla olduğu bu nedenle buralarda daha fazla ısı kayıpları oluşacaktır. Bu özellikte olan yapı bileşenlerinde ısı yalıtımı uygulamalarının iyi olmadığı, yapısal problemlerin olduğu söylenebilir. Şekilde pencere kenarlarında ve pencere duvar bileşim yerlerinde yalıtımın iyi uygulanmadığı bu nedenle bu kısımlarda ısı kayıplarının artacağı düşünülmektedir. 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 9(b) ve 9(c) de binanın dış kapı yüzey sıcaklığının büyük olması oluşacak ısı kayıplarını artıracaktır. Tüm görüntülerde pencere dış yüzey sıcaklıklarının dış duvarlara göre daha yüksek olması bu kısımlarda daha fazla ısı kayıplarının yaşanacağını ifade etmektedir. Bu durum, Şekil 3(a)’da MMF binası yapı bileşenleri ile ilgili verilen ısı kayıp oranlarında en fazla kaybın pencerelerde olduğu bilgisini doğrulamaktadır. Şekil 10’da FEF binasının farklı cephelerden çekilmiş termal kamera görüntüleri verilmiştir.



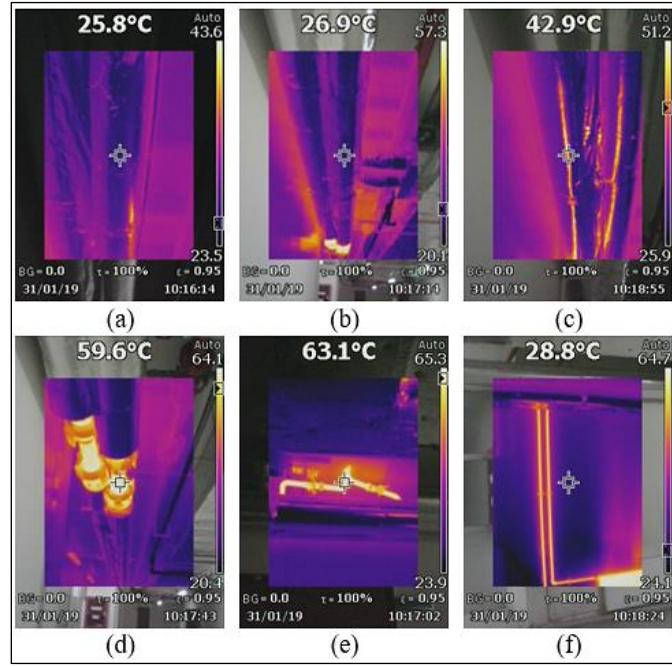
Şekil 10. FEF binasının termal kamera görüntüleri.

Şekil 10 incelendiğinde, FEF binasının termal kamera görüntülerinin Şekil 9’de MMF binası için verilen görüntüler ile benzerlikler içerdiği belirlenmiştir. FEF binasının tüm cephelerinde bulunan bazı yapı bileşenlerinde (Benzer bileşenlerine göre daha açık renkli olan yüzeyler) yapısal kusurlar olduğu, izolasyonların iyi uygulanmadığı görülmüştür. Özellikle pencere çerçevelerinde ve pencerelerin duvar ile bağlantılarında sızdırmazlıkların iyi giderilmediği tespit edilmiştir (Şekil 10c). Şekil 10(f)’de pencere duvar bağlantısı noktasındaki yüzey sıcaklığı 3.3°C olarak ölçülmesi bu hususu teyit etmektedir. Yine pencere altlarındaki dış duvar yüzeylerindeki açık renkteki tonlar bu kısımların iç tarafında bulan radyatör peteklerinin ısı geçişini artırmasından kaynaklanmıştır. Binanın çoğu pencerelerinin dış yüzey sıcaklıkları duvar yüzey sıcaklığından daha fazla olması burada ısı kayıplarının daha büyük oranlarda gerçekleşeceğini göstermektedir. Şekil 3(b)’de FEF binası için verilen değerlerde en fazla ısı kaybının pencerelerde olduğu bu durumu açıklamaktadır. Şekil 10(c)’de iç mahallin ortam sıcaklığının düşük derecede ısıtılması nedeniyle (Lavabo ve WC bölümü) belirtilen dış duvar yüzey sıcaklığı yaklaşık -5.2°C olarak ölçülmüştür. Şekil 10(e)’deki görüntüde 2. katın bu cephesi teras kat olup ısıtılmamaktadır. Bu nedenle iç ortam sıcaklık değeri dış ortama yakın olduğu için koyu renkli görülmüştür. Şekil 11’de İİBF binasının farklı cephelerden çekilmiş termal kamera görüntüleri verilmiştir.



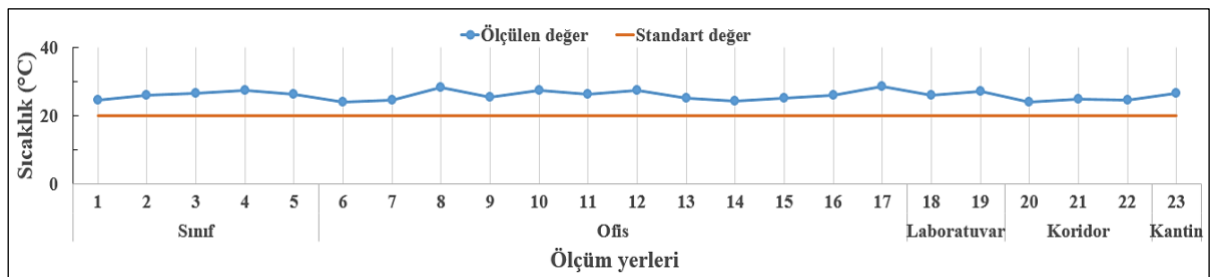
Şekil 11. İİBF binasının termal kamera görüntüleri.

Şekil 11 incelendiğinde, İİBF binasının termal kamera görüntülerinin Şekil 9’de MMF ve Şekil 10’da verilen FEF binaları için verilenler ile benzerlikler içerdiği belirlenmiştir. Ancak İİBF binasının termal görüntülerinde diğer binalara göre izolasyon uygulamalarının daha iyi, yapısal kusurların daha az olduğu görülmüştür. Şekil 4’de İİBF binasında birim başına ısıtma enerjisi ihtiyacı diğer binalardan daha küçük değerde ve maksimum sınırın altında olması bu durumu doğrulamaktadır. İİBF binasının termal görüntülerinde pencere çerçevelerinde ve pencerelerin duvar ile bağlantılarında bazı sızdırmazlıkların giderilmediği belirlenmiştir. Yine binada pencere dış yüzey sıcaklıklarının dış duvar yüzey sıcaklıklarından daha fazla olduğu görülmüştür. Binanın sağ ve sol cephelerinde diğer binalara göre daha az pencere sayısının olması ısı kayıplarını kısmen azaltmıştır. İİBF binasında pencerelerde meydana gelen ısı kayıp oranları diğer binalardan daha az olması bu durumu açıklamaktadır (Şekil 3). Şekil 11(e) ve Şekil 11(f)’de görülen açık parlak noktasal cisim çevre aydınlatma lambasından kaynaklanmaktadır. Şekil 12’de FEF binasının bodrum katında bulunan ısıtma amaçlı yalıtılmış sıcak su gidiş ve dönüş borularının termal kamera görüntüleri verilmiştir.



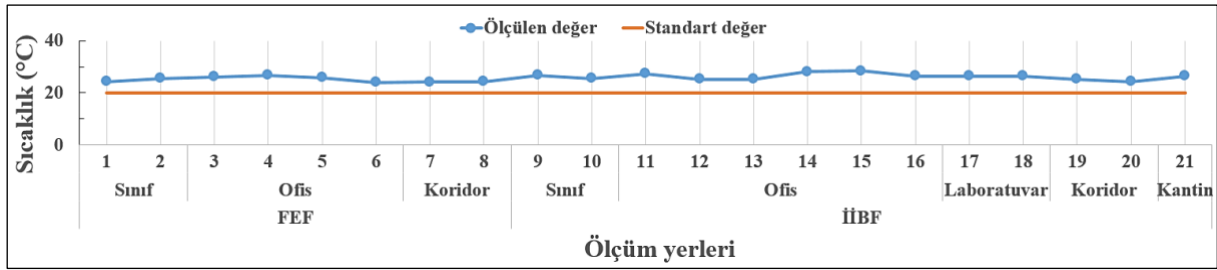
Şekil 12. Sıcak su borularının termal kamera görüntüleri.

Şekil 12(a) ve Şekil 12(b)'de verilen termal görüntüler incelendiğinde, sıcak su borularının dış yüzey sıcaklıkları ile genel iç ortam sıcaklık değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu durum sıcak su boru izolasyonlarının iyi uygulandığını göstermektedir. Ancak Şekil 12(c)'de boru üzerinde açık renkli çizgi şeklinde uzayan yüzeyin sıcaklığı yaklaşık 42.9°C olarak ölçülmüştür. Bu boru üzerinde izolasyonun iyi uygulanmadığı, izolasyonda çizgi şeklinde bir açılmanın olduğu görülmüştür. Şekil 12(d)'de izolasyonun uygulanmadığı bağlantı yerinde yüzey sıcaklığı yaklaşık 59.6°C olarak ölçülmüştür. Yine Şekil 12(e)'de izolasyonu yapılmayan üst kat kolon bağlantı borusunun yüzey sıcaklığı ise yaklaşık 63.1°C olarak ölçülmüştür. Bu kısımların izolasyonunun yapılması borudan çevreye ısı geçişini azaltarak ısıtma sisteminin daha verimli çalışmasını sağlayacaktır. Şekil 12(f)'de radyatör peteği ve izole edilmemiş bağlantı borularının (gidiş ve dönüş) yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 13'de MMF binasında belirlenen yerler için ölçülen iç ortam sıcaklık değerlerinin standart değere göre değişimi verilmiştir.



Şekil 13. MMF binası iç ortam sıcaklıkları.

Şekil 13 incelendiğinde ofislerin iç ortam sıcaklıkları 24°C ile 28.6°C arasında, sınıflar için ise 24.4°C ile 27.3°C arasında değiştiği görülmüştür. Ölçülen yerlerin ortalama iç ortam sıcaklıkları; sınıflar için 26.1°C, ofisler için 26°C ve laboratuvar için 26.5°C olarak bulunmuştur. Tüm ölçüm yerlerinin iç ortam sıcaklıklarının ısı konforu sağlayan standart sıcaklık sınır değerinden (TS 825'e göre öğretim binaları için 20°C) daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum iç ortam ile dış çevre arasındaki sıcaklık farkını büyüteceğinden binadan çevreye daha fazla ısı kaybına neden olacaktır. Bunun sonucunda daha fazla yakıt tüketimi ile birlikte binanın ısıtma maliyetini ve yakıt tüketimi sonucu oluşacak CO₂ emisyonunu artıracaktır. Ayrıca bina ile ilgili Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen sonuçlarda, gerçek değerlerin teorik değerlerden daha fazla olmasının nedenini de açıklamaktadır. Şekil 14'de FEF ve İİBF binalarında belirlenen yerler için ölçülen iç ortam sıcaklık değerlerinin standart değere göre değişimi verilmiştir.



Şekil 14. FEF ve İİBF binaları iç ortam sıcaklıkları.

Şekil 14 incelendiğinde FEF binasında sınıfların ortalama sıcaklığı 25°C, ofislerin ise 25.7 °C olarak belirlenmiştir. İİBF binasında ise sınıfların ortalama sıcaklığı 26.2°C, ofisleri ortalama sıcaklığı 26.8°C olarak tespit edilmiştir. Her iki binada tüm ölçüm yerlerinin iç ortam sıcaklıklarının ısı konforu sağlayan standart sıcaklık sınır değerinden (TS 825'e göre öğretim binaları için 20°C) daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum daha fazla ısı kaybına, yakıt tüketimine, ısıtma maliyetine ve CO₂ emisyonuna neden olacaktır. Ayrıca FEF ve İİBF binaları için Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen grafikler, gerçek değerlerin teorik değerlerden daha fazla olması gerçeğini doğrulamaktadır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, kışların soğuk ve yoğun kar yağışıyla geçtiği Bitlis ilinin yeni yerleşim alanında kurulan Bitlis Eren Üniversitesi kampüsündeki eğitim binalarının, ısı kaybı, ısıtma amaçlı yakıt maliyetleri ve oluşan CO₂ emisyonları incelenerek enerji verimliliği bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Özgül ısı kaybı ve ısıtma enerjisi ihtiyacının en büyük değeri MMF’de en küçük değeri ise İİBF binasında gerçekleşmiştir. Tüm binalarda havalandırma yoluyla oluşan ısı transferi iletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı kayıplarından daha fazla olmuştur. MMF’de havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı iletim ve taşınım ile gerçekleşenden %51 daha fazla olmuştur. Tüm binalarda yapı bileşenleri içerisinde oransal olarak en büyük ısı kaybı pencerelerde olmuştur.
- Binalarda birim kullanım alanı başına ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerinden MMF %7, FEF %9 daha fazla, İİBF’de ise %2 daha düşük olmuştur. İİBF binasında uygulanan yalıtımın TS 825 standardına uygun olduğu diğer binalarda ise uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Tüm binalarda farklı ısıtma sezonlarında kullanılan kömür ve doğalgaz yakıt türlerinde gerçek tüketim miktarı teorik tüketimden daha fazla olmuştur. Teorik ve gerçek yakıt tüketimi en düşük İİBF binasında en yüksek ise MMF’de olmuştur. MMF binasında kömür yakıtı için gerçek tüketim değeri teorik değere göre %13, doğalgaz için %16 daha fazla olmuştur. İİBF binasında kömür yakıtı için gerçek tüketim değeri teorik değere göre %23, doğalgaz için %24 daha fazla olmuştur. Tüm binalarda teorik tüketime göre gerçek yakıt tüketiminde görülen en büyük artış doğalgazda en düşük artış ise kömürde olmuştur. Kullanılan yakıtlarda teorik tüketime göre gerçek tüketim miktarında en düşük artış MMF’de en yüksek artış ise İİBF binasında gerçekleşmiştir.
- Kömür yakıtının kullanılmasından oluşan maliyetin doğalgaz yakıtı ile oluşan maliyetten daha fazla olduğu belirlenmiştir. Tüm binalarda kullanılan yakıtlar için gerçek tüketim maliyetinin teorik tüketim maliyetinden fazla olduğu, en düşük maliyet Doğalgaz yakıtı ile İİBF binasında, en yüksek maliyet ise MMF binasında kömür yakıtında olmuştur. Kömür yakıtının kullanılmasıyla İİBF binasında gerçek maliyet MMF’ne göre %13, FEF’ne göre ise %10 daha az olmuştur. İİBF binasında doğalgaz yakıtında gerçek maliyet MMF’ne göre %15, FEF’ne göre ise %13 daha düşük gerçekleşmiştir. Kömür yerine doğalgazın kullanılması gerçek maliyeti MMF’de %45, FEF’de %44 ve İİBF binasında ise %46 oranında azaltmıştır.
- Tüm binalarda kömür ve doğalgaz yakıtlarında birim kullanım alanı başına gerçek tüketim maliyetinin teorik tüketim maliyetinden fazla olduğu, doğalgazın kömüre göre daha ekonomik bir yakıt olduğu belirlenmiştir. Birim kullanım alanı başına en düşük maliyet MMF’de en yüksek maliyetin ise İİBF binasında olmuştur. MMF binasında birim kullanım alanı başına gerçek tüketim maliyetinin İİBF’ne göre kömür yakıtında %11, doğalgaz yakıtında ise %9 daha düşük olmuştur. Kömür yakıtının yerine doğalgaz yakıtının kullanılması birim kullanım alanı başına gerçek maliyeti MMF binasında %45 oranında azaltmıştır. Bina kullanım alanı azaldıkça birim kullanım alanı başına yakıt tüketim maliyeti artmıştır.

- Tüm binalarda doğalgaz yakıtı emisyon değerleri kömürden daha düşük gerçekleşmiştir. En düşük emisyon İİBF binasında, en yüksek emisyon ise MMF binasında meydana gelmiştir. Kömür yakıtı yerine doğalgaz kullanılması durumunda gerçekte CO₂ emisyon değerinde İİBF’de %61, MMF’de %60 ve FEF’de %59 oranlarında azalma olmuştur.
- Mevcut binaların termal kamera ile elde edilen görüntülerden pencere çerçevelerinde, pencerelerin duvar ile bileşim yerlerinde, sıcak su dağıtım borularında bazı izolasyon hatalarının ve sızdırmazlık problemlerinin olduğu, bu durumun ısı kayıplarını, yakıt maliyetlerini ve CO₂ emisyon değerlerini artıracığı sonucunu göstermektedir. Binalarda belirlenen izolasyon hataları ve yapısal kusurlar, gerçek yakıt tüketimi ve maliyetlerinin teorik değerlere göre daha fazla olmasının nedenini açıklamaktadır. Pencerelerin termal kamara görüntüleri en fazla ısı kaybının bu yapı bileşeninde meydana gelmesini teyit etmektedir. Termal kamera görüntülerinde İİBF binasında diğer iki binaya göre daha az izolasyon hatalarının görülmesi, bu binanın birim kullanım alanı başına en düşük ısıtma enerjisi ihtiyacına sahip olmasını ve binada uygulanan yalıtımın standartlara uygunluğunu doğrulamaktadır.
- Binalarda ölçülen iç ortam sıcaklık değerlerinin standart değerden fazla olması, daha fazla ısı kaybına, yakıt tüketimine ve ısıtma maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Ayrıca artan yakıt tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyonunu da artıracaktır. Binalarda iç ortam sıcaklıklarının standart değerden fazla olması, gerçek yakıt tüketim değerlerinin teorik değerlerden daha fazla olmasının diğer bir nedenini de açıklamaktadır.

Yukarıda belirtilen değerlendirmeler ışığında, mevcut binalarda ısıtma amaçlı enerji verimliliğinin artırılması için yapılması gerekenler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapı bileşenlerinde belirlenen yalıtım ve sızdırmazlık problemlerinin giderilmesi gerekir.
- Bina yalıtımlarının standartlara uygun olarak kalifiye elemanlar tarafından yapılması gerekmektedir.
- Binalardaki iç ortam sıcaklıklarının standart değerlerin üzerinde olması göz önüne alındığında merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan ısıtıcılarda ortam sıcaklığına göre çalışan dijital termostatların kullanılması önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

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

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Akdoğan, İ., ve Kovancılar, B. (2022). Avrupa Birliği ve Türkiye’de çevre dostu yenilenebilir enerji politikalarının teşvik türleri açısından değerlendirilmesi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 29(1), 69-91.
- Ateş, A. M., Kestane, Ö., ve Ülgen, K. (2021). Üniversite binalarının enerji performans değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu örneği. *Mühendis ve Makine*, 704(62), 534-555.
- Deshko, V.I., and Shevchenko, O. M. (2013). University campuses energy performance estimation in Ukraine based on measurable approach. *Energy and Buildings*, 66, 582-590.
- Elhuveydi, A. (2020). *Enerji verimliliği bakımından Bitlis Eren Üniversitesi kampüs binalarının enerji etüdü*. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- Elhuveydi, A., ve Oral, F. (2022). Binalarda ısı kaybına neden olan yapısal sorunların termal kamera görüntüleme tekniği ile değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 370-380.
- Eruslu, E. (2022). Binalarda enerji israfının önüne geçmenin yolu yalıtımdan geçiyor. *Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi*, 153.
- Genceli, O. F., ve Parmaksızoğlu, İ. C. (2012). *Kalorifer Tesisatı*. İstanbul: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları No: MMO/352/7.
- Guan, J., Nord, N., and Chen S. (2016). Energy planning of university campus building complex: energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study. *Energy and Buildings*, 124, 99-111.
- Günkaya, Z., Özkan, A., and Banar, M. (2021). The effect of energy-saving options on environmental performance of a building: a combination of energy audit-life cycle assessment for a university building. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8822-8832.
- Karakoç, T. H. (2011). *KTH Kalorifer Tesisatı Hesabı Verimli Sistemler*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Nisan Kitabevi Ders Kitapları Yayınları.
- Najjar, M. K., Figueiredo, K., Hammad, A. W., Tam, V. W., Evangelista, A. C. J. , and Haddad, A. (2019). A framework to estimate heat energy loss in building operation. *Journal of Cleaner Production*, 235, 789-800.
- Oğuz, Y., ve Kırmacı, V. (2015). Bartın ilinde kullanılan ısıtma sistemlerinin ekonomik ve çevresel etkilerinin incelenmesi. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(1), 4-10.
- Oral, F. ve Elhuveydi, A. (2021). Bitlis ili şartlarında merkezi ısıtma sisteminde kullanılan farklı yakıt türlerinin ekonomik ve çevresel etkilerinin incelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 186-196.
- Ostojic, S., Veršic, Z., and Muraj, I. (2016). Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini. *Energy and Buildings*, 115, 47-54.
- Rüşen, S. E., Topçu, M. A., Celep, G. K., Çeltek, S. A., ve Rüşen, A. (2018). Üniversite kampüs binaları için enerji etüdü: örnek çalışma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 83-92.
- TSE. (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 825.
- TBMM. (2008). Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği. Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, No 27075.
- URL-1: Google Earth, <http://earth.google.com>, (Erişim Tarihi: 13 Eylül 2022).
- URL-2: Bitlis Eren Üniversitesi, <https://iha.beu.edu.tr/>, (Erişim Tarihi: 13.Eylül 2022).
- URL-3: <https://www.fluke.com/tr-tr/urun/termal-kameralar/ti110>, (Erişim Tarihi: 14 Eylül 2022).

- URL-4: <https://www.testo.com/en-TH/testo-435-2/p/0563-4352>, (Erişim Tarihi: 14 Eylöl 2022).
- URL-5: <https://dogugaz.com.tr/iletisim.php>, (Erişim Tarihi: 05 řubat 2020).
- URL-6: <https://www.enerjiportali.com/komur-fiyatlari-2/>, (Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2019).
- Uzun, İ. (2022). Türkiye'nin enerji görünümü ve enerji verimliliği. *Mühendis ve Makine Güncel*, 66(6), 15-23.
- Vanlı, S. (2011). Enerji verimliliği için ısı yalıtımı şart. *Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi*, 153.
- Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V. E., ve İçöz, E. (2019). Süleyman Demirel Üniversitesi seçili dersliklerinin iç çevre kalitesi açısından incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 811-818.