



YEŞİL KAMPÜS ENERJİ FİZİBİLİTE ETÜDÜ: SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Serdar Mustafa GÜMÜŞBAŞ¹, Barış GÜREL^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Yeşil Kampüs,
Enerji Yönetimi,
Enerji Verimliliği,
Isıl Geçirgenlik,
Isı Kaybı.*

Özet

Eğitim kurumları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri azaltarak, yeşil kampüsler oluşturmalı ve toplumda sürdürülebilirlik bilincini artırmalıdır. Enerji ve İklim Değişikliği göstergesi, Yeşil Kampüs derecelendirmesinde önemli bir yer tutmakta ve binaların enerji tüketimi genel tüketimin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yapılan bu çalışmada, binaların enerji tüketim verileri analiz edilmiş ve Enerji Yönetimi ile Enerji Verimliliği konusunda çözüm önerileri sunulmuştur.

GREEN CAMPUS ENERGY FEASIBILITY STUDY: THE CASE OF SULEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Keywords

*Green Campus,
Energy Management,
Energy Efficiency,
Thermal Transmittance,
Heat Loss.*

Abstract

Educational institutions should create green campuses and raise awareness of sustainability in society by reducing environmental, social, and economic impacts to achieve sustainable development goals. The Energy and Climate Change indicator has an important place in the Green Campus rating and the energy consumption of buildings constitutes a large part of the overall consumption. In this study conducted at Süleyman Demirel University, the energy consumption data of the buildings were analyzed and solutions were proposed for Energy Management and Energy Efficiency.

Alıntı / Cite

Gümüşbaş, S.M., Gürel, B., (2024). Yeşil Kampüs Enerji Fizibilite Etüdü: Süleyman Demirel Üniversitesi Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(4), 749-764.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S.M. Gümüşbaş, 0000-0001-7918-9667
B. Gürel, 0000-0002-1780-2603

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.03.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.07.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.10.2024
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: barisgurel@sdu.edu.tr, +90-246-211-0805

GREEN CAMPUS ENERGY FEASIBILITY STUDY: THE CASE OF SULEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Serdar Mustafa GÜMÜŞBAŞ¹, Barış GÜREL^{1†}

¹ Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Isparta, Türkiye

Highlights

- Increasing energy efficiency and reducing carbon footprint
- Creating a sustainable campus
- Increasing energy efficiency in buildings
- Determination of thermal losses in buildings

Objective and Scope

In this study, it is aimed to examine the current situation of the buildings and heating boilers in terms of energy efficiency within the scope of the green campus project at Süleyman Demirel University. The investigations, results and comments made in order to realize the stated purpose are given in the article. Within the scope of the article, various measurements were made on the campus to identify deficiencies and improvements to make Süleyman Demirel University greener and more livable. These are; measurement with a thermal camera, U factor measurement, measurement of efficiency and emissions of natural gas boilers and determination of the conductivity of water in the boiler. The measurements were evaluated and interpreted and necessary recommendations were made.

Design/methodology/approach

Experimental measurement methods were used for the research. Making experimental measurements was our objective. Experimental measurement equipment was used to achieve the objectives. In addition, energy efficiencies in university and building heating centers were measured experimentally and the results were evaluated and necessary recommendations were given. Scope of experimental measurement methods: Measurement of heat losses in buildings with a thermal camera, determination of heat loss coefficients in building walls with U factor measurement, measurement of emission and combustion efficiencies in university heating center and swimming pool boilers with emission devices, and boiler feedwater conductivity measurement.

Findings:

In all thermal camera shots taken during the study, it was determined that there was a large amount of heat loss from the columns and especially from the windows.

- Looking at the results of the U-factor measurement, the newly built West Campus Center, which will be operational in 2021

It was observed that the thermal insulation of the walls in the classrooms was good, but the thermal insulation was not good in the buildings of the Faculty of Architecture and Engineering.

- When the central heating system and swimming pool boilers are compared, it is seen that the central heating system boiler was installed in 2016, while the swimming pool boiler was installed in 2002, and when compared in terms of heating system technologies at that time, it is seen that the central heating system installed in 2016 is much more efficient than the swimming pool boiler in terms of both combustion efficiency, heat efficiency and emissions.

- Since the conductivity values in the university heating system water are quite low, the softening process was successful and the purity of the water was quite high. Therefore, it was evaluated that the boiler body and the heating system in the central heating system would not corrode.

Research limitations/implications

In the article, the research results of the experiments on the measurement of heat losses in buildings by thermal camera, determination of heat loss coefficients in building walls by U factor measurement, measurement of emission and combustion efficiencies in university heating centre and swimming pool boilers by emission devices are reported. In the research, experimental measurements of heat loss in buildings with thermal camera and determination of heat loss coefficients in building walls with U factor measurement were carried out in the Faculty of Engineering buildings, which are the oldest buildings of Süleyman Demirel University. There are a total of 16 buildings in the Faculty of Engineering, including 4 2-storey, 6 1-storey and 4 single-storey buildings. The E4 building, where the Dean's office is located, was selected as the sample building. In order to make a comparison, measurements were also made in SDU Rectorate building, Engineering Faculty E1

[†] Corresponding author: barisgurel@sdu.edu.tr, +90-246-211-0805

and E4 buildings and West Campus Central Classrooms building during the winter months. By evaluating the results of the research, necessary measures will be taken to increase energy efficiency in buildings and heating systems within the campus. It will be easier to create a sustainable campus with smart and green buildings, production and use of renewable energy, increasing energy efficiency and reducing carbon footprint. Newly established and to be established universities should be built by taking these factors into consideration.

Practical implications

It has been observed that the thermal insulation of the walls in the Central Classrooms of the West Campus is good, but the thermal insulation in the Faculty of Architecture and Engineering buildings is not good. Therefore, it is suggested that the insulation of the walls in these buildings should be improved. According to the results obtained, when the central heating system and swimming pool boilers are compared, it is seen that the central heating system boiler was installed in 2016, while the swimming pool boiler was installed in 2002, and when compared in terms of heating system technologies at that time, it is seen that the central heating system installed in 2016 is much more efficient than the boiler in the swimming pool in terms of both combustion efficiency, heat efficiency and emissions. In addition, it is predicted that the flue gas temperature at the outlet of the flue gas condenser in the central heating system cannot fall below the condensing temperature of 55 °C and does not condense, so the latent heat of the flue gas cannot be used. The efficiency of the system can be increased by revising the working conditions or design of the flue gas condenser. In addition, since the conductivity values in the university heating system water are quite low, it is seen that the softening process is successful and the purity of the water is quite high. Therefore, it is evaluated that the boiler body and the heating system in the central heating system will not corrode.

Social Implications

Creating a sustainable campus has an important role in minimizing the negative environmental and social impacts of the crowded population of universities. Universities, which are institutions that produce knowledge and technology, seek solutions to all kinds of problems, and act according to a policy, planning, and strategy while doing so, have very important duties in ensuring environmental sustainability. When the latest status of the green measurement indicators in GreenMetric, which is the most important index that enables universities to be evaluated on international platforms by considering green measurement indicators, it is seen that climate change and the management and efficient use of energy are among the top priority areas that need to be improved. It will be easier to create a sustainable campus with smart and green buildings, production and utilization of renewable energy, increasing energy efficiency, and reducing carbon footprint. Newly established and to be established universities should be built by considering these factors. The quality of life of universities will increase by evaluating the results of the study and taking the necessary measures.

Originality

Studies on energy feasibility studies in universities have been carried out in recent years. However, the measurement of heat losses in university buildings, determination of heat loss coefficients in building walls, measurement of emission and combustion efficiencies in university and swimming pool boilers, and measurement of boiler feed water conductivity are not found in the literature within the knowledge of the researchers. The results of the research will be used by energy managers and administrators in universities and public institutions.

1. Giriş (Introduction)

Üniversiteler, sürdürülebilirlik ve ekolojik uygulamaları teşvik ederek dünya genelinde sürdürülebilir yaşam biçiminin yaygınlaşmasına katkıda bulunurlar. Bu sayede üniversiteler, yenilikçi ve rehberlik edici rolleriyle sürdürülebilir ve ekolojik kampüs uygulamalarının hızla yayılmasını sağlamışlardır. Sürdürülebilir kampüslere olan ilgi arttıkça uluslararası indeksler de kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, Yeşil Lig, Çevresel ve Sosyal Sorumluluk İndeksi ve Yeşil Ölçüm gibi değerlendirme yöntemleri bu bağlamda önemli bir rol oynamaktadır (Suwartha ve Sari, 2013).

Bu indeksler arasında öne çıkan ve en yaygın kullanılan UI GreenMetric sıralama modelidir. Bu model, üniversite yöneticilerine ve çalışanlarına enerji, su yönetimi, küresel ısınma ve yeşil ulaşım gibi çeşitli sürdürülebilirlik odaklı ekolojik konularda farkındalık oluşturmayı amaçlamaktadır. Küresel ısınma gibi önemli bir çevre sorununu ele alarak, sera etkisi yaratan gazların azaltılmasına yönelik politikalar ve uygulamalar, kampüs içinde enerji tasarrufu, karbon ayak izinin azaltılması, yeşil ve akıllı bina uygulamaları gibi alanlarda önemli rol oynamaktadır (Kaya, Dal ve Aşkın, 2019; Yapıcı vd., 2021).

Bu çerçevede, üniversiteler sürdürülebilirlik ve ekolojik bilincin gelişmesine katkı sağlayarak gelecek nesillere daha sağlıklı bir çevre bırakmayı hedeflemektedirler.

Süleyman Demirel Üniversitesinde yeşil kampüs kapsamında kampüsteki binaların enerji verimliliği standartlarına uymasını sağlamak için; Üniversitede Enerji Yönetim birimi kurulması, Enerji yöneticisi ataması yapılması ve Üniversitenin Enerji Tüketim bilgilerinin Son 3 yıllık verileri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının Enerji Portalı olan ENVER PORTALI'na girilerek bir Enerji Bilançosu çıkarılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Enerji tüketimi hesaplanarak enerjide tasarruf planı hazırlanması amaçlanmaktadır. Halen yapılmakta olan, yapılacak olan ve ayrıca mevcut bulunan binalarda 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, TS825 Binalarda Isı Yalıtımı ve Cumhurbaşkanlığının 15/08/2019 tarih ve 2019/18 sayılı Genelgesi uyarınca; Üniversite Kampüsü içerisinde mevcut bulunan ve Enerji Tüketimi yüksek binaların Enerji Etütlerinin yapılması, Etüt sonuçlarına göre plan yapıp Elektrik alanında, Mekanik Tesisat alanında, yenilenebilir Enerji alanında eksikliklerin giderilmesi için çalışmalar yapılmaktadır(<https://yesilkampus.sdu.edu.tr/tr/hedeflerimiz/enerji-ve-iklim-degisikligi-13487s.html>, 2022).

Sürdürülebilir bir kampüs oluşturmak, üniversitelerin kalabalık nüfusunun olumsuz çevresel ve sosyal etkilerinin en aza indirilmesinde önemli bir role sahiptir. Bilgi ve teknoloji üreten, her türlü soruna çözüm arayan ve bunu yaparken bir politika, planlama ve stratejiye göre hareket eden kurumlar olan üniversitelere çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında çok önemli görevler düşmektedir. Üniversitelerin yeşil ölçüm göstergeleri dikkate alınarak uluslararası platformlarda değerlendirilmesini sağlayan en önemli endeks olan GreenMetric'te yeşil ölçüm göstergelerinin son durumuna bakıldığında iklim değişikliği ile enerjinin yönetimi ve verimli kullanımının iyileştirilmesi gereken öncelikli alanların başında geldiği görülmektedir. Akıllı ve yeşil binalar, yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon ayak izinin azaltılması ile sürdürülebilir bir kampüs oluşturmak daha kolay olacaktır. Yeni kurulan ve kurulacak olan üniversiteler bu faktörler göz önünde bulundurularak inşa edilmelidir. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması ile üniversitelerdeki yaşam kalitesinin artacağı öngörülmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışmanın bu bölümünde Yeşil Kampüs konusunda yapılmış çalışmalara yer verilmektedir. Değerlendirilen çalışmalar sürdürülebilirlik kapsamında incelenerek çalışma sonucunda elde edilen kazanımlar belirtilmiştir. Kayıhan ve Tönük (2011), sürdürülebilirlik unsurlarını; çevresel, ekonomik ve toplumsal açılardan belirlemiştir. Temel eğitim binalarının sürdürülebilirlik konularında eğitim verebilmesi için gerekli tasarım kriterlerini incelemişlerdir. Saygın ve Ulusoy (2011) ise Sürdürülebilir Kampüs ilkeleri arasından su kaynakları yönetimini ele almış ve İYTE Mimarlık Fakültesi için yeşil altyapı önerileri sunmuşlardır. Esin ve Tekçe (2012) sürdürülebilir okullar için önemli kriterleri ele almış ve çocuklara çevreye duyarlı eğitim sağlanmasının gerekliliğinden bahsetmiştir. Tonguç (2012) okul öncesi eğitim yapılarının sürdürülebilir tasarım faktörlerini incelemiş ve çocuklara kaliteli eğitimin çevreye duyarlı yapılarla mümkün olduğuna değinmiştir. Olszak (2012) sürdürülebilir bir kampüs uygulaması için farklı kriterleri ele almış ve kampüsteki etkinlik değerlerini değerlendirmiştir. Tan vd. (2014) üniversitelerdeki sürdürülebilir yeşil kampüs uygulamalarını değerlendirmiş ve enerji kullanımını inceleyerek ulusal desteklerin önemine vurgu yapmıştır. Şahin ve Dostoğlu (2015) sürdürülebilir yapıım kapsamında okul binalarının önemine değinmiş ve sürdürülebilir tasarım ilkelerinin önemine vurgu yapmışlardır. Kocabaş ve Bademcioğlu (2016) sürdürülebilirliğin yaşam tarzı olarak benimsenmesi gerektiğini vurgulamış ve okul binalarının bu bilinci yaymak için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bayramoğlu (2016) peyzaj mimarlığında kuraklığa dikkat çekmiş ve sürdürülebilir peyzaj yaklaşımlarının önemine değinmiştir. Günerhan ve Günerhan (2016) üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki yaklaşımlarını incelemiş ve sürdürülebilir üniversite modeli önermişlerdir. Hajrasouliha (2017) üniversitelerin sürdürülebilir fiziksel özelliklerini değerlendirmiş ve sürdürülebilir kampüs indeksi geliştirmiştir. Filibeli vd. (2017) sürdürülebilir su yönetimini ele almış ve atıksu arıtma süreçlerini değerlendirmiştir. Tavşan ve Yanılmaz (2019) sürdürülebilirlik kriterlerini belirlemiş ve etkin sürdürülebilirlik kriterlerini ele almışlardır. Süt vd. (2019) yeşil ulaşım problemini ele almış ve çevre dostu araçların kullanımını önermiştir. Güzelkokar ve Gelişen (2019) sürdürülebilir bina dönüşümlerini analiz etmiş ve yeşil ve sürdürülebilir yapıların önemine değinmişlerdir. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Kampüs Binaları için Enerji Etüdü çalışması(Rüşen vd., 2018) yapılmıştır. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi'nin (KMÜ) enerji açısından potansiyeli araştırılmıştır. Öncelikle, KMÜ yerleşkesindeki binaların kullandığı enerji tüketim değerleri tespit edilmiş ve verimlilik artırıcı projeler önerilmiştir. Mamur vd. (2019) Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik ihtiyacının karşılanması için yapılan fizibilite çalışması oldukça önemli ve başarılı bir adım olarak değerlendirilebilir. 36 kW rüzgâr türbini ve 23 kW güneş panelli şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sistemi sayesinde okulun elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabileceği tespit edilmiş. Bu da hem çevre dostu bir enerji kaynağı kullanımını hem de uzun vadede mali olarak kazançlı bir yatırımı işaret etmektedir. Çalışmanın sonucunda sistemin 7,8 yıl içinde kendini amorti edebileceği belirlenmiş, bu da gelecek yıllarda okul için önemli bir tasarruf sağlayacağını göstermektedir. Bu tür çalışmaların artması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması, enerji sektöründe sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği sağlamak açısından oldukça önemlidir. Aydın ve Cunkaş (2019), Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası çerçevesinde lisans alma zorunluluğu bulunmayan 400 kWp güneş enerji sistemi ve 100 kWp rüzgâr enerji sistemini kapsayan bir tesisin fizibilite

çalışmasını gerçekleştirmiştir. Yapımı planlanan hibrit sistem ile yerleşkenin elektrik tüketimi de göz önüne alınarak şartlara en uygun çözüm araştırılmıştır. Yılmaz vd. (2023) Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde gerçekleştirilen yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik bir simülasyon yapmıştır. Hibrit bir sistem kullanılarak güneş ve rüzgar enerjisi kombinasyonu ile enerji üretimi gerçekleştirilmiş ve teknik ve ekonomik analizler yapılmıştır. Çalışmada üniversitenin coğrafi konumu dikkate alınarak güneş ve rüzgar enerji potansiyelleri incelenmiş, kampüsün elektrikli araçlar için yük profili belirlenmiş ve bu doğrultuda fotovoltaik ve rüzgar türbin sistemleri boyutlandırılmıştır. Hibrit sistemde fotovoltaik (90 kW) ve rüzgar türbin (10 kW) sistemlerinin boyutları belirlenmiş ve güç çıkışları hesaplanmıştır. Aylık enerji alım-satım değerleri analiz edilerek kâr-zarar durumu incelenmiştir. Elektrikli araçların şarj istasyonları için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji yaklaşımı sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, enerji verimliliği ve çevresel etkiler açısından önemli olabilir. Güven ve Yörükçü, (2022), bir üniversite kampüsünün enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış bir Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin (HRES) detaylı bir fizibilite araştırmasını sunmaktadır. HRES, Rüzgar Türbini (WT), Fotovoltaik (PV), Dizel Jeneratör, Batarya ve invertör bileşenlerini içerir. Bileşenlerin optimum boyutlandırılmasını yapmak için HOMER ve MATLAB yazılımı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yeşil kampüs projesi kapsamında binaların ve kalorifer kazanlarının enerji verimliliği açısından mevcut durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Belirtilen amacı gerçekleştirmek için yapılan incelemeler, sonuçlar ve yorumlar makalede verilmiştir. Makale kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi'nin daha yeşil ve daha yaşanabilir olması için eksikliklerin ve iyileştirmelerin tespit edilmesi amacıyla kampüste çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bunlar; termal kamera ile ölçüm, U faktörü ölçümü, doğalgaz kazanlarının verim ve emisyonlarının ölçümü ve kazan içerisindeki suyun iletkenliğinin tespitidir. Yapılan ölçümler değerlendirilerek yorumlanmış ve gerekli tavsiyelerde bulunulmuştur.

Makalede, termal kamera ile binalardaki ısı kayıplarının ölçümü, U faktörü ölçümü ile bina duvarlarındaki ısı kaybı katsayılarının belirlenmesi, emisyon cihazları ile üniversite ısıtma merkezi ve yüzme havuzu kazanlarında emisyon ve yanma verimlerinin ölçümü üzerine yapılan deneylerin araştırma sonuçları raporlanmıştır. Araştırmada, Süleyman Demirel Üniversitesi'nin en eski binaları olan Mühendislik Fakültesi binalarında termal kamera ile binalarda ısı kaybının deneysel ölçümleri ve U faktörü ölçümü ile bina duvarlarında ısı kaybı katsayılarının belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Mühendislik Fakültesi'nde 4 adet 2 katlı, 6 adet 1 katlı ve 4 adet tek katlı olmak üzere toplam 16 bina bulunmaktadır. Araştırma sonuçları değerlendirilerek kampüs içerisindeki binalarda ve ısıtma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması için gerekli önlemler alınacaktır. Akıllı ve yeşil binalar, yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon ayak izinin azaltılması ile sürdürülebilir bir kampüs oluşturmak kolaylaşacaktır.

Son yıllarda üniversitelerde enerji fizibilite çalışmaları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ancak üniversite binalarında ısı kayıplarının ölçülmesi, bina duvarlarında ısı kayıp katsayılarının belirlenmesi, üniversite ve yüzme havuzu kazanlarında emisyon ve yanma verimlerinin ölçülmesi ve kazan besleme suyu iletkenliğinin ölçülmesinin hep birlikte yapıldığı çalışmalar araştırmacıların bilgisi dahilinde literatürde bulunmamaktadır. Makale bu açıdan özgün olmaktadır. Literatürdeki bu eksiklik giderilerek literatüre katkı verilecektir. Araştırma sonuçları, üniversiteler ve kamu kurumlarındaki enerji yöneticileri ve idarecileri tarafından kullanılabilir olacaktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Süleyman Demirel Üniversitesi'nin yeşil ve yaşanabilir bir kampüs oluşturma çabaları kapsamında, Mühendislik Fakültesi'nin eski binalarında termal kamera ile ısı kaybı ölçümleri, U faktörü analizleri, doğalgaz kazanlarının verim ve emisyon testleri ve su iletkenliği testleri yapılmıştır. Bu ölçümler, kampüsün enerji verimliliğini artırmak ve çevresel performansını iyileştirmek için gerekli iyileştirmelerin belirlenmesine yardımcı olmuştur. E4 binası, bu ölçümler için örnek bina olarak seçilmiş ve kış aylarında yapılan karşılaştırmalı ölçümlerle, Rektörlük binası, E1 ve E4 binaları ile Batı Kampüsü Merkezi Derslikler binasının enerji performansları değerlendirilmiştir.

3.1. Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü (Temperature Measurement with Thermal Camera)

Mühendislik Fakültesi'nin E4 binasında, ısınma mevsiminin başladığı Kasım 2021'den itibaren Mart ayı sonuna kadar süren beş aylık bir dönemde, her ayın en düşük sıcaklıklarının yaşandığı günlerde sabah 7 ile 9 arasında termal kamera kullanılarak ısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler Testo 871 model bir termal kamera ile yapılmıştır.

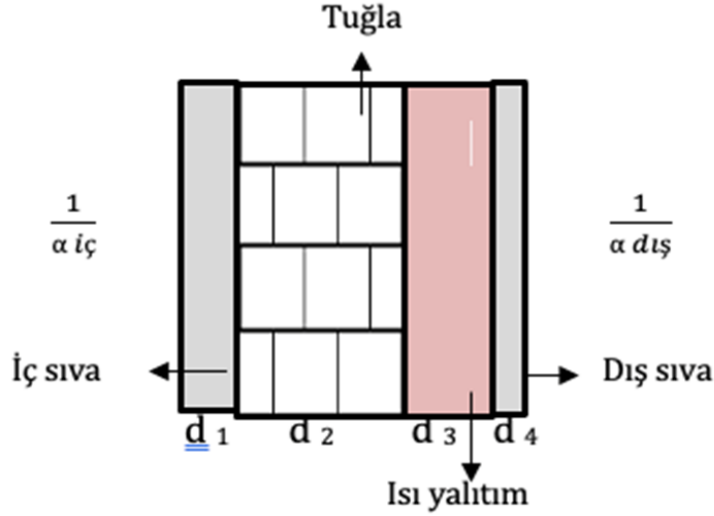
3.2. U Faktörü (Isı Geçirgenlik Katsayısı) Ölçümü (U Factor (Heat Transfer Coefficient) Measurement)

U faktörü, farklı malzemelerin sırayla dizilmesiyle oluşan bir yapı duvarının ısı transferine karşı gösterdiği dirençtir. Yapı elemanlarının 1 m²'sinden birim zamanda geçen ısı miktarını gösterir. U faktörü ne kadar küçük olursa, ısı kayıpları da o miktarda düşük olur.

U faktörü, bir yapı elemanının termal performansını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Matematiksel olarak, U faktörü (genellikle W/m^2K cinsinden ifade edilir) şu formülle hesaplanır:

$$U = \frac{1}{R_{TOPLAM}} \quad (1)$$

Burada ($R_{\{toplam\}}$) toplam termal direnci temsil eder ve bu da sırasıyla dizilmiş malzemelerin her birinin termal dirençlerinin toplamıdır. U faktörü ne kadar düşükse, o malzemenin ısı yalıtımı o kadar iyidir ve ısı kaybı o kadar az olur. Bu, özellikle enerji verimliliği ve sürdürülebilir binalar tasarlanırken önemlidir.



Şekil 1. Yalıtımlı Duvar Örneği (Insulated Wall Example)

Şekil 1'de verilen yalıtımlı duvar örneğinin U faktörü değeri hesaplaması Denklem 2 ve 3 ile yapılmaktadır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{iç}} \sum_{i=1}^n Ri + \frac{1}{\alpha_{dış}} \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{d}{\lambda_1} + \frac{d}{\lambda_2} + \frac{d}{\lambda_3} + \frac{d}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{dış}}} \quad (3)$$

U faktörü bir yapı elemanının ısı yalıtım performansını ifade eder ve düşük bir U faktörü değeri, daha iyi bir ısı yalıtımı anlamına gelir. Isı iletkenlik katsayısı (λ) (W/mK), ısı direnci (R) (m^2K/W) ve malzeme kalınlığı (d) (m), U faktörünü hesaplamak için kullanılan temel parametrelerdir. Hava taşınımı katsayıları (h) (m^2K/W), TS 825 standardına göre belirlenir ve hava için taşınım değerleri ile katı malzemeler için iletim değerleri farklıdır. U faktörünü azaltmanın yollarından biri, malzemenin kalınlığını arttırmak, diğeri ise daha düşük (λ) değerine sahip malzemeler kullanmaktır. Her iki durumda da, (R) değeri artacak ve sonuç olarak U faktörü düşecektir. Bu, enerji verimliliği yüksek binaların tasarımında önemli bir faktördür.

Bu çalışma, Mühendislik Fakültesi E4 binası ve Batı Kampüsü Merkezi derslikler binasında kış aylarında yapılan U faktörü ölçümlerini içermektedir. Ölçümler, personel ofislerinde, sınıflarda ve laboratuvarlarda, Testo 635 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, Cihazın sensörleri, duvar sıcaklığını ölçmek için duvara yapıştırılmış ve dış ortam sıcaklığı için bir sıcaklık ölçüm probu kullanılmıştır. Veri toplama süreci ortalama 30 dakika sürmüştür ve sonrasında bilgisayar aracılığıyla analiz edilmiştir. Ölçümler, 2021 Aralık ayından 2022 Mart ayına kadar, ayların en soğuk günlerinde, sabahın erken saatlerinde yapılmıştır.



Şekil 2. U Faktörü ölçümü (U Factor measurement)

3.3. Baca Gazı Analizörüyle Isı Merkezindeki Doğalgaz Kazanlarının Verim ve Emisyonlarının Ölçümü (Measurement of Efficiency and Emissions of Natural Gas Boilers in Heat Center with Flue Gas Analyzer)

SDÜ'nün ısı merkezi, 8 MWth gücünde iki adet ve 6 MWth gücünde dört adet doğalgaz kazanına sahiptir. Ayrıca, acil durumlar için fuel-oil ile çalışabilen bir doğalgaz kazanı da mevcuttur. Isı merkezinde gerçekleştirilen baca gazı analizleri, Testo 300 Baca Gazı Analizörü kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sırasında, 8 MWth gücündeki kazan ölçüm için referans noktası olarak kullanılmıştır. Kazan ve kondenserin çıkışındaki baca borularındaki numune alma delikleri, Şekil 3'te belirtildiği üzere kullanılmıştır. Benzer bir şekilde, yüzme havuzundaki 1,5 MW kapasiteli, yağışmalı ve O₂ yanma kontrolü olmayan kazanda da baca gazı analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Baca Gazı Analizörü İle Bacadan Numune Alımı a. Isı Merkezindeki Kazandan Numune Alımı, b. Yüzme Havuzundaki Kazandan Numune Alımı (Sampling from Chimney with Flue Gas Analyzer a. Sampling from Heat Center Boiler, b. Sampling from Swimming Pool Boiler)

3.4. Kazan İçerisindeki Suyun İletkenliğinin Belirlenmesi (Determination of the Conductivity of the Water in the Boiler)

Suyun sertlik derecesi, içinde erimiş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzlarının toplam miktarına göre tespit edilir. Genellikle, suyun içindeki sertlik yaratan bileşenlerin miktarı, kalsiyum karbonat (CaCO₃) eşdeğeri olarak ifade edilir ve bu ölçüm Kuzey Arıtma tarafından 2019(Kuzey Arıtma, 2019) yılında belirlenmiştir.

Kalsiyum karbonat, yani kireç taşı, oluştuğunda, korozyon ve kireçlenme sonucu güçlü bir yalıtım katmanı meydana getirir ve bu da ısı transferini ciddi şekilde kısıtlar. Tablo 1, kireç taşı kalınlığının artmasıyla birlikte meydana gelen yakıt kaybının değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. Kazanların Yüzeylerinde Oluşan Kireç Tabakası Kalınlıkları ve Buna Karşılık Oluşan Yakıt Kayıpları (Lime Layer Thicknesses on the Surfaces of the Boilers and the Resulting Fuel Losses) (Çanka, 2017)

Kireç tabakası kalınlığı (mm)	Yakıt kaybı (%)
1	5-8
2	10-15
3	25-30
4	30-35
5	35-40

Tablo 1, kireç taşı birikiminin verim üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Buhar kazanlarında kireç taşı oluşumunun önlenmesi hayati önem taşır; bu nedenle, kazan besi suyu, su yumuşatıcı cihazla işlem gördükten sonra kazana yönlendirilir. Literatürde, kazanın ve sistemin korozyona uğramaması için, buhar kazanındaki suyun maksimum iletkenlik değeri belirlenmiştir. Bu değer, düşük ve orta basınçlı buhar kazanları için (6000-7000/ $\mu\text{S}/\text{cm}$) olarak saptanmıştır ve bu değer, kazan suyu kimyasalları üreten firmalar tarafından belirlenmiştir. Bu çalışmada, kazan içindeki işlenmiş suyun iletkenliği ölçülerek, kazanın korozyona uğrayıp uğramadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümler, Delta Ohm HD2106 cihazı kullanılarak yapılmıştır.

3.5. Çalışma Kapsamı ve Sınırları (Scope and Limits of the Study)

Binalarda ısınma ihtiyacı kış aylarında gerekli olduğu için ölçümler yıl boyunca değil sadece kış aylarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca merkezi ısıtma sistemi de kış aylarında çalışmaktadır. Bu yüzden kazanın yanma verimi ve kazan içerisindeki suyun iletkenliği sadece kazanın çalıştığı kış aylarında ölçülerek belirlenmiştir.

Termal kamera ile duvarlardaki sıcaklık ölçümü yapılarak ısı kayıpları belirlenmiş ve bunların iyileştirilmesiyle enerji tüketimi değerlerinin azaltılması hedeflenmekte ve böylece yeşil kampüs enerji etüdüne katkıda bulunulacaktır.

U faktörü ölçümü ile duvarlardaki ısı yalıtımları belirlenip zayıf olan duvarlardaki yalıtım kalınlıkları iyileştirilerek TS825 Binalarda Isı Yalıtımı standartlarına uygun yalıtım kalınlıkları iyileştirilecek ve böylece yeşil kampüs enerji etüdüne katkıda bulunulacaktır.

Baca gazı analizörü ile merkezi ısıtma sistemi kazanlarında yanma verimi ve kazan besi suyu iletkenlikleri iyi çıkmıştır. Zaman içerisinde yapılacak periyodik ölçümlerle yanma verimi ve kazan besi suyu iletkenliği gerekli olduğunda iyileştirilerek kampüsteki ısıtma sistemindeki enerji tüketimi azaltılacaktır. Belirtilenler yapıldığı takdirde yeşil kampüs enerji etüdüne katkıda bulunulacaktır.

Kampüs içerisinde enerji fizibilite etüdünü yapmak için elektrik enerjisi tüketimleri, ısı sisteminin enerji tüketimi ile binalardaki ısı kayıpları ve kalınlıklarını ölçmek yeterlidir. Çünkü kampüsteki başlıca enerji tüketimi ve kayıpları bunlardan oluşmaktadır.

Tablo 2. SDÜ 2023 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Değerleri (SDU Electricity and Natural Gas Consumption Values for 2023)

Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi Maliyet (TL)	Doğalgaz Tüketimi Maliyet (TL)
18892092,46	83468856,98	72435459,49	133363317,08

Tablo 2’de görüldüğü gibi, elektrik SDÜ kampüsü 2023 yılında oldukça yüksek miktarda elektrik ve doğalgaz tüketimi yapmaktadır. Ayrıca maliyetleri de çok yüksek olmaktadır. Tablo’da görüldüğü gibi kampüsün 2023 yılındaki elektrik tüketimi 18892092,46 kWh iken, 2023 yılı elektrik maliyeti 72435459,49 TL’dir. Bununla birlikte kampüsteki 2023 yılı doğalgaz tüketimi 83468856,98 kWh iken maliyeti 133363317,08 TL’dir. Yeşil kampüs fizibilite etüdü sonucunda önerilen tedbirler sonucunda kampüs içerisindeki elektrik ve doğalgaz tüketimi önemli miktarda azaltılabilecektir. Bu sayede yeşil kampüs enerji fizibilite etüdü faaliyetleri amacına ulaşacaktır.

Ölçüm sonuçları değerlendirilip yorumlanarak kampüsteki ısı, elektrik enerjisi tüketimleri ve binalardaki ısı kayıpları etüt edildi ve kampüsteki ısı ve elektrik tüketimi ve ısı kayıplarının azaltılmasında ne gibi önlemler alınmalı sonuçlar kısmında belirtilmiş ve yeşil kampüs enerji etüdüne katkıda bulunulmuştur.

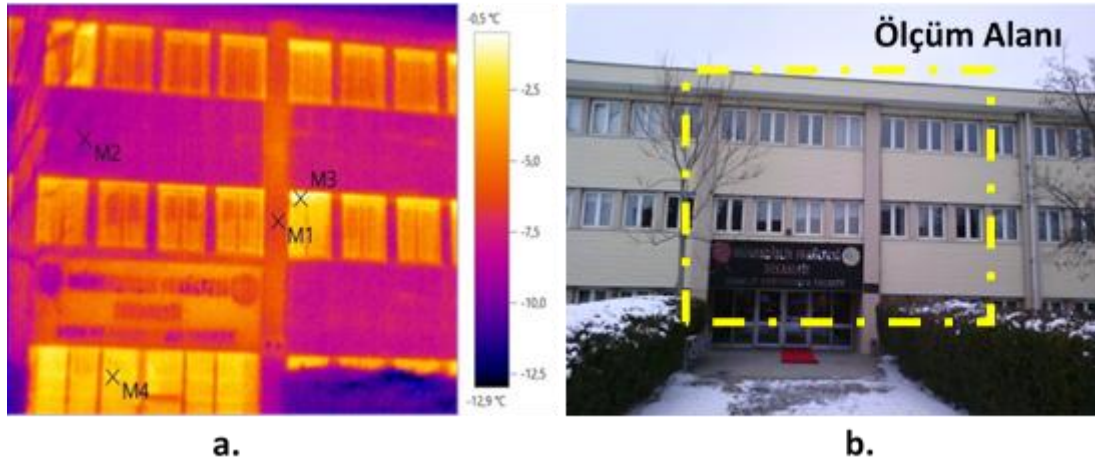
Bakanlık sertifikalı firmaların bina enerji etütlerinde yaptığı ölçümler (<https://vetenerji.com/bina-enerji-etut-proje-ve-raporlama/>, 2022): Baca gazı analizleri, termal kamera çekimleri, panolarda ve motorlarda enerji analizörü ölçümleri, ortam havası sıcaklık/Nem/CO₂ ölçümleri, aydınlatma ölçümleri, ultrasonik cihazlarla

pompalarda debi ölçümleri, klima santrallerinde debi ölçümleri, ultrasonik cihazlarla hava, buhar kaçağı tespitleri, enerji kaynakları/yenilenebilir enerji kaynakları ölçümlenmeleri(Güneş enerjisi ve kojenerasyon)'dir. Bu kapsam dikkate alındığında, kampüs genelinde panolarda ve motorlarda enerji analizörü ölçümleri daha önce yapılarak özellikle sulama pompa motorlarına sürücü koyulmuştur. Ortam havası, sıcaklık/Nem/CO₂ ve aydınlatma ölçümleri yapılarak yazarların hazırladığı tezde(Gümüşbaş, 2023) sunulmuştur ancak bu çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Tıp fakültesi haricinde kampüste klima santrali yoktur bu yüzden kampüs genelinde bir değerlendirme yapıldığı için çalışma kapsamında klima santrallerinde debi ölçümü yapılmamıştır. Ultrasonik cihazlarla hava, buhar kaçağı tespitleri ısıtma sistemi için daha önce yapılmıştır ve kaçak olmadığı belirlenmiştir. Makale yazarlarının hazırladığı tezde(Gümüşbaş, 2023) enerji kaynakları ölçümlenmeleri sunulmuştur ancak bu çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

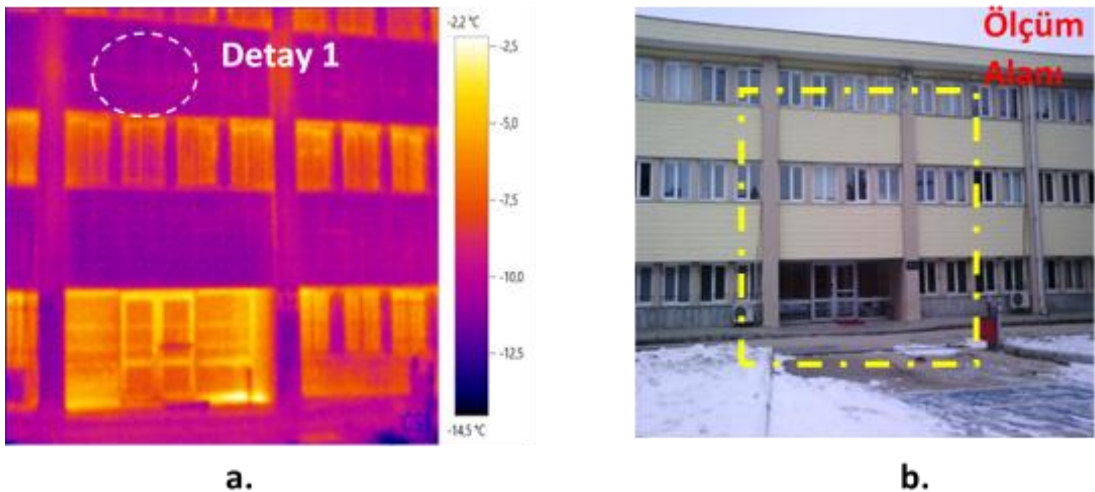
4. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Research Findings and Discussion)

4.1. Termal Kamera ile Ölçüm Sonuçları (Measurement Results with Thermal Camera)

Şekil 4, E4 binasının dekanlık girişinin ön cephesinin termal kamera ile çekilmiş görüntüsünü göstermektedir. Çekim, dış hava sıcaklığının -11,7 °C olduğu bir zamanda yapılmıştır ve görüntüdeki M1-4 noktalarının sıcaklıkları sırasıyla -7, -8,9, -0,9 ve -2,3 °C olarak kaydedilmiştir. Görüntüden, bina kolonlarının yalıtımsız olduğu ve ısı köprülerinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır, bu nedenle kolonlara izolasyon yapılması şarttır. Ayrıca, pencerelerin sıcaklıklarının beklenenden yüksek olduğu ve bu durumun eskimiş contalar ve bağlantı elemanlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Öncelikle pencerelerin bakımının yapılması ve ardından daha yüksek enerji verimliliğine sahip yeni pencerelerle değiştirilmesi önerilmektedir. Bunun yanı sıra, bina giriş kapısının sıcaklığı (M4) ile dış ortam sıcaklığı arasında büyük bir fark olduğu tespit edilmiştir; bu durumun, ısıtıcı hava perdeleri kullanılarak düzeltilebileceği ön görülmektedir.

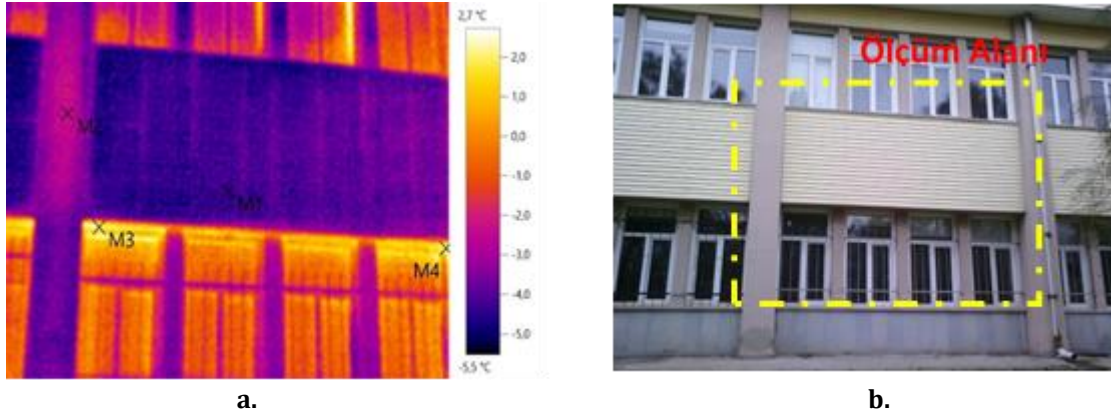


Şekil 4. E 4 Binası Güney Cephesi Dekanlık Girişi, A. Termal Kamera Görüntüsü, B. Gerçek Görüntü (E 4 Building South Facade Dean Building Entrance, A. Thermal Camera Image, B. Real Image)



Şekil 5. E 1 Binası Güney Cephesi Girişi, a. Termal Kamera Görüntüsü, b Gerçek Görüntü (E 1 Building South Facade Entrance, a. Thermal Camera Image, b. Real Image)

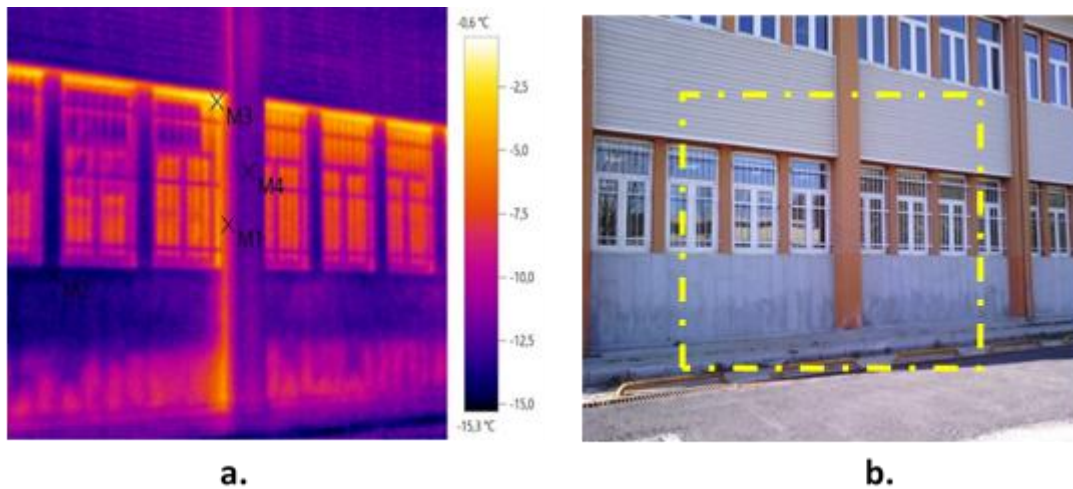
Termal kamera görüntüleri, binaların yalıtım performansının değerlendirilmesinde önemli bir araçtır. Şekil 5'teki E1 binasının termal kamera görüntüsü, dış ortam sıcaklığı $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken alınmış ve TS 825 yalıtım standartlarına uygun olmayan bir mantolama usulünü ortaya koymuştur. Isı köprülerinin tespiti, yalıtımın birleşim noktalarında enerji kaybına yol açabilecek zayıf noktaların belirlenmesine yardımcı olur. Mühendislik ve Mimarlık Fakültelerinin farklı cephelerine ait termal kamera sonuçları da bu değerlendirmenin bir parçasıdır. Batı Kampüsü Merkezi Dersliklerinin termal kamera sonuçları da benzer şekilde incelenmelidir. Bu tür analizler, binaların enerji verimliliğini artırmak ve yalıtım standartlarını iyileştirmek için gerekli düzenlemelerin yapılmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 6. Mühendislik Fakültesi E 1 Binası Kuzey Cephesi, a. Termal Kamera Görüntüsü, b. Gerçek Görüntü (Faculty of Engineering E 1 Building North Facade, a. Thermal Camera Image, b. Real Image)

Bu bölüm, E1 binasının kuzey cephesindeki termal kamera görüntüsünü ve bu görüntüde ölçülen sıcaklıkları açıklamaktadır. İşte önemli sonuçlar:

- Termal Görüntü: Şekil 6, dış ortam sıcaklığı $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan bir günde alınmış E1 binasının kuzey cephe duvarının termal kamera görüntüsünü göstermektedir.
- Sıcaklık Ölçümleri: M1-4 noktalarında sıcaklıklar sırasıyla $-4,6, -2,5, 2,4, 2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür.
- Yalıtım İhtiyacı: Kolondaki $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, dış ortam sıcaklığının $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kuzey cephede de güney cephe gibi yalıtım ihtiyacı olduğunu göstermektedir.
- Pencerelelerin Isı Kaybı: M3 ve M4 noktalarındaki sıcaklıklar, pencerelerden kaynaklanan ısı kaybının oldukça yüksek olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 7. Mimarlık Fakültesi Kuzey Cephesi, a. Termal Kamera Görüntüsü, Bb Gerçek Görüntü (North Facade of the Faculty of Architecture Building, a. Thermal Camera Image, b. Real Image)

Şekil 7, Mimarlık Fakültesi binasının kuzey cephe duvarının termal kamera görüntüsüne ve bu görüntüde ölçülen sıcaklıklara odaklanmaktadır. Anahtar noktalar aşağıda listelenmiştir:

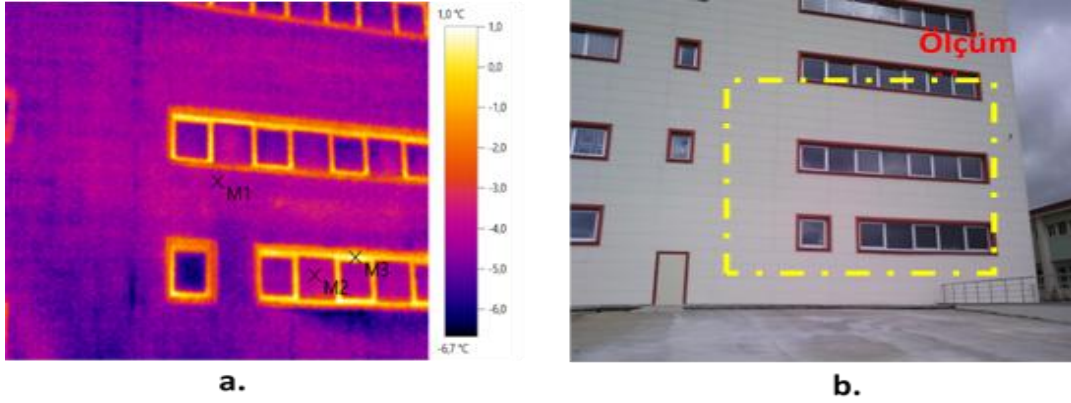
Termal Görüntü: Görüntü, dış ortam sıcaklığı $-15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan bir günde alınmıştır.

Ölçülen Sıcaklıklar: M1-4 noktalarının sıcaklıkları sırasıyla -9,5, -14,7, -0,6, -12,4 °C olarak ölçülmüştür.

Pencere Köşesi: Kolon dibindeki pencere köşesindeki sıcaklık -0,6 °C olarak ölçülmüştür.

Isı Köprüleri: Kolonla duvarın birleşim yerlerinde ısı köprüleri gözlemlenmiştir. Bu durum da kaçan ısının fazlalığını göstermektedir.

Bu bilgiler, binanın yalıtım performansı ve ısı kaybı konularında önemli veriler sağlamaktadır.



Şekil 8. Batı Kampüsü Merkezi Derslik Binası, a. Termal Kamera Görüntüsü, b. Gerçek Görüntü (West Campus Central Classroom Building, a. Thermal Camera Image, b. Real Image)

Tablo 3. U Faktörü Ölçüm Sonuçları (U Factor Measurement Results)

Ölçüm Yerleri	İç Ort. Sıc. (°C)	Dış Ort. Sıc. (°C)	U (W/m ² °C)	Ölçüm Tarihi
Müh. Fak. Ofis	17,36	4,30	0,829	20.12.2021
Müh. Fak. Ofis	19,24	1,10	0,555	26.01.2022
Müh. Fak. Ofis	19,14	1,40	0,705	15.02.2022
Müh. Fak. Ofis	20,06	6,00	0,961	16.03.2022
Müh. Fak. Laboratuvar	15,96	2,50	1,321	20.12.2021
Müh. Fak. Laboratuvar	18,18	-4,10	1,028	26.01.2022
Müh. Fak. Laboratuvar	16,20	-2,00	1,157	15.02.2022
Müh. Fak. Laboratuvar	17,31	-3,00	1,951	11.03.2022
Müh. Fak. Derslik Kolon	14,64	3,00	2,155	20.12.2021
Müh. Fak. Derslik Kolon	17,85	-2,30	2,220	26.01.2022
Müh. Fak. Derslik Kolon	17,21	-1,10	2,410	15.02.2022
Müh. Fak. Derslik Kolon	19,20	-3,00	1,535	11.03.2022
Batı Merkezi Derslikler	21,10	5,01	0,170	20.12.2021
Batı Merkezi Derslikler	20,35	2,10	0,157	26.01.2022
Batı Merkezi Derslikler	20,22	2,00	0,160	15.02.2022
Batı Merkezi Derslikler	21,28	5,50	0,170	16.03.2022

Batı Kampüsü Merkezi Dersliklerinin duvarlarının termal kamera görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Görüntü, dış ortam sıcaklığının -6,7 °C olduğu bir günde alınmıştır. Termal kamera ile yapılan ölçümlerde, M1-3 sıcaklıklarının sırasıyla -4,9 °C, -4,2 °C ve 1,0 °C olduğu belirtilmiştir. Bu, özellikle M3 sıcaklığının pozitif olması, pencere çerçevelerinden kaynaklanan ısı kaçağının varlığını göstermektedir. Alüminyumun yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olması, ısı köprüsü oluşturabilecek bir faktördür. Ancak, termal bölümlenmiş alüminyum doğrama profilleri ve plastik ısı yalıtım bariyerleri kullanılarak ısı yalıtımının artırılması mümkündür. Yine de, termal kamera görüntülerine göre, binanın pencere doğramalarının yalıtımının yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum, ısı yalıtımı konusunda ek önlemler alınması gerektiğini göstermektedir.

4.2. U Faktörü (Isıl Geçirgenlik Katsayısı) Ölçümü Sonuçları (U Factor (Heat Transfer Coefficient) Measurement Results)

U faktörü değerleri Mühendislik Fakültesi E4 binasında bulunan ofislerde yapılan ölçümlerde Aralık ayında 0,829 W/m² °C, Ocak ayında 0,555 W/m² °C, Şubat ayında 0,764 W/m² °C ve Mart ayında ise 0,961 W/m² °C olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Ofislerdeki ölçüm sonuçları TS 825 standartlarına yakın olmakla birlikte standart değerin üzerindedir. Bunun sebebi olarak bina duvarlarının dış mantolamasının yeterli olmaması

ve binaların yaşlı olması nedeniyle yıpranmış olması değerlendirilmektedir. Kuzeye bakan laboratuvar duvarlarında yapılan ölçümlerde U faktörü değerleri Aralık ayında $1,321 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Ocak ayında $1,028 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Şubat ayında $1,157 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve Mart ayında $1,951 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Bu değerlerin, güneye bakan ofisteki ölçümlere göre daha yüksek olduğu ve TS 825 standartlarından da çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin laboratuvarın zemin katta olduğu için duvarlarının yalıtımsız olduğunu söyleyebiliriz. Dersliklerde ki kolonlardan yapılan U faktörü ölçümlerinde Aralık ayında $2,155 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Ocak ayında $2,220 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Şubat ayında $2,420 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve Mart ayında $1,535 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur. Kolonlarda yalıtım olmadığı için duvarlara göre U faktörü değerinin daha fazla ve Bu durumunda kolonlardan daha fazla ısı kaybına sebep olduğu tespit edilmiştir. Batı Yerleşkesi Merkezi Dersliklerinde yapılan U faktörü ölçümlerinde Aralık ayında $0.170 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Ocak ayında $0.157 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Şubat ayında $0.160 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve Mart ayında $0.170 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler TS 825 standartları sınır değerlerinin çok altında olduğu için istenilen seviyelerdedir. Bunun sebebinin duvarların ısı yalıtımı iyi olduğu için ısı kayıplarının da çok az olduğu olarak yorumlanmıştır.

4.3. Baca Gazı Analizörüyle Isı Merkezindeki Doğalgaz Kazanlarının Verim ve Emisyonlarının Ölçüm Sonuçları (Measurement Results of Efficiency and Emissions of Natural Gas Boilers in Heat Center with Flue Gas Analyzer)

Tablo 4'te Doğu Yerleşkesi ısı merkezindeki ve yüzme havuzundaki kazanlardan baca gazı analizörüyle ölçülen sonuçlar verilmiştir. Baca gazı ölçümleri kazanlar tam kapasite çalışırken Ocak ayının en soğuk gününde üçer adet tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Doğu Yerleşkesi Isı Merkezindeki ve Yüzme Havuzundaki Kazanlardan Baca Gazı Analizörüyle Alınan Ölçüm Sonuçları (Measurement Results Taken with Flue Gas Analyzer from the Boilers in the East Campus Heat Center and Swimming Pool)

Ölçüm Sonuçları	Isı Merkezindeki Kazan Baca Gazı Çıkışı	Isı Merkezindeki Kazan Kondenser Çıkışı	Yüzme Havuzunda Bulunan Kazan Baca Gazı Çıkışı
Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	104	72,3	120,5
O ₂ Mol Oranı	3,5	3,5	4,5
CO ₂ Mol Oranı	12	10	9,43
Yanma Verimi (%)	96,4	97,9	95,4
CO Emisyonu(ppm)	0	2,0	4,0
λ (Hava Fazlalık Katsayısı)	1,2	1,2	1,27
T ₀ (Ortam Sıcaklığı)($^\circ\text{C}$)	27,0	27,3	26,4
T _{çığ} (Baca Gazı Çiğlenme Noktası Sıcaklığı) ($^\circ\text{C}$)	56,6	56,6	55,6

Tablo 4'te belirtildiği üzere, ısı merkezindeki kazan baca gazı çıkış sıcaklığı $104 \text{ }^\circ\text{C}$ olup, kondenser çıkış sıcaklığı ise $72,3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Isı merkezindeki O₂ ve CO₂ mol oranı, yangın verimi, CO salınımı, hava fazlalık katsayısı (λ), ortam sıcaklığı (T₀), Baca gazı çiğlenme noktası sıcaklığı (T_{çığ}) değerleri sırasıyla % 3,5, % 12, % 96,4, 0 ppm, 1,2, 27°C ve $56,6 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Isı Merkezindeki Kazan Kondenser Çıkışından ölçülen sıcaklık, O₂ ve CO₂ mol oranı, yanma verimi, CO salınımı, hava fazlalık katsayısı (λ), ortam sıcaklığı (T₀), Baca gazı çiğlenme noktası sıcaklığı (T_{çığ}) değerleri sırasıyla $72,3 \text{ }^\circ\text{C}$, % 3,5, % 10, % 97,9, 2 ppm, 1,2, $27,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $56,6 \text{ }^\circ\text{C}$ şeklindedir. Bu çalışmada hava fazlalık katsayısı (λ) değeri Denklem (4) kullanılarak hesaplandı. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, ısı merkezinde bulunan kazanlarda O₂ trimli brülör ve baca gazı kondenseri olduğu için, kazanlardaki yangın ve ısı veriminin yüksek olduğu anlaşıldı. Baca gazı yoğunlaşma sıcaklığı 56°C seviyesine kadar indirilirken, hatta kazan ilk çalışması sırasında baca gazı kondenserinde yoğunlaşma meydana gelmektedir. Kazanlar tamamen scada ile otomasyon edilirken, emisyon ve yangın verimleri de optimize edilmektedir. Oksijen trimli brülör sayesinde yanmanın neredeyse yüzde yüze yaklaştığı ve CO'nun oluşmadığı görüldüğü için bacadaki su buharı kondenserde yoğunlaştıktan sonra CO₂ içeren baca gazının atıldığı gözlemlendi. Ancak, yapılan çalışmalar sırasında kondenserin baca gazını her zaman yoğunlaştırmadığı da belirlendi. Kondenserin su giriş tarafı sıcaklığı $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıktığında, baca gazı yoğunlaşma sıcaklığı olan $56 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altına inememekte ve yoğunlaşma durmaktadır. Dolayısıyla, baca gazındaki yaklaşık %10 hacimsel orana sahip su buharının yoğunlaşmasıyla kazanılacak bir gizli ısı kaybı oluşmaktadır. Kondenserin su tarafı giriş sıcaklığının 40°C 'nin altında tutulmasıyla baca gazındaki su buharından gizli ısı elde edilebilecek ve kazanın verimi en az %6 oranında artırılabilir. Ayrıca, yalnızca doğalgaz yakıtlı kazanı bulunan, O₂ trimli brülör yerine normal brülör kullanan ve kondenser olmayan $1,5 \text{ MWth}$ ısı güce sahip yüzme havuzu kazanından çıkan baca gazı sıcaklığı, O₂ ve CO₂ mol oranı, yanma verimi, CO salınımı, hava fazlalık katsayısı (λ), ortam sıcaklığı (T₀) ve Baca gazı çiğlenme noktası sıcaklığı (T_{çığ}) değerleri sırasıyla $120,5 \text{ }^\circ\text{C}$, % 4,5, % 9,43, % 95,4, 4 ppm, 1,27, $27,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $55,6 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Bu nedenle, yüzme havuzu baca gazındaki gizli ısı baca gazı kondenseri ile geri kazanılarak sistem

verimliliğinin % 12'ye kadar artabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, brülör fanının hızının azaltılmasıyla hava fazlalık katsayısının (λ) 1,2'ye indirilmesi de önerilmiştir.

$$\lambda = \frac{02}{21-02} \quad (4)$$

4.4. Kazan Besi Suyu İletkenliği Ölçüm Sonuçları (Boiler Feedwater Conductivity Measurement Results)

Kazan gövdesinin korozyona uğramaması için kazan besi suyu şartlandırılmaktadır. Su yumuşatma işlemi, merkezi ısıtma sistemine uygulanmaktadır. Su yumuşatması, korozyona karşı koruma sağlamakta ve ısı ve besi suyu kaybını azaltmaktadır. Blöf, kazan suyundaki katı madde konsantrasyonunu sabit tutmak amacıyla suyun bir kısmının dışarı atılmasıdır. Su yumuşatma işlemi sayesinde normal şartlarda blöf işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Isıtma sistemi içerisinde su yumuşatma cihazından(Şekil 9) sonra besi suyunun ve kazan suyunun iletkenliği ölçülmektedir.



Şekil 9. Su Yumuşatma Cihazı (İyon Değiştirici) (Water Softening Device (Ion Exchanger))

Üniversite şebeke suyundan, Doğu Isı Merkezi'nden ve Yüzme havuzundan alınan su örneklerinde iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Alınan örneklerdeki iletkenlik değerlerinin istenilen seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Su İletkenlik Değerleri ($\mu\text{S/cm}$) (Water Conductivity Values ($\mu\text{S/cm}$))

Şebeke Suyu	Isı Merkezi	Havuz	Azami Değer
583,3	478	333	6000-7000

Kazan besi suyunun iletkenlik ölçümü sonucunda, su sıcaklığı 26,8 °C iken, iletkenlik değeri 478 $\mu\text{S/cm}$ olarak tespit edilmiştir. Havuz kazan suyunun iletkenlik ölçümünde, su sıcaklığı 28,1 °C iken su iletkenliği 333 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Üniversite şebeke suyundaki iletkenlik ölçümünde ise su sıcaklığı 21,3 °C iken iletkenlik değeri 583,3 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Şebeke suyundaki azami iletkenlik değerlerinin 6000-7000 $\mu\text{S/cm}$ olduğu düşünülürse, bulunan iletkenlik değerlerinin yumuşatma işleminin başarılı olduğunu ve suyun yüksek saflık seviyesine sahip olduğunu gösterdiği ve merkezi ısıtma sisteminde kazan gövdesi ve ısıtma sisteminin korozyona uğramayacağı değerlendirilmektedir.

4.5. Yeşil Kampüs Enerji Ve İklim Değişikliği Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi Sonucunda Yapılacak Değişikler (Changes to be Made as a Result of the Evaluation of Green Campus Energy and Climate Change Research Findings)

a. Tüm yenilemelerin veya yeni yapıların enerji verimliliği standartlarına uymasını sağlama

Tüm yenilemelerin yanı sıra, yeni yapılacak olan binaların ve yenileme projelerinin enerji verimliliği standartlarına uygun olmasını sağlamak için ilgili mevzuat ve standartlar göz önünde bulundurulacaktır. Enerji verimliliği ön planda tutularak, binaların tasarımı, malzeme seçimi ve enerji kullanımı en optimize şekilde gerçekleştirilecektir.

Ayrıca, yenileme veya tadilat projeleri için enerji verimliliği analizlerinin yapılması ve mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak için gerekli önlemlerin alınması da önem taşımaktadır. Bu kapsamda, enerji verimliliği

sağlayan teknolojilerin kullanımı teşvik edilecek ve enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesi için gerekli adımlar atılacaktır.

Sonuç olarak, üniversitede enerji verimliliğinin artırılması ve standartlara uygunluğun sağlanması için çeşitli çalışmalar yürütülmekte ve bu konuda sürekli olarak iyileştirmeler yapılmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayarak hem çevreye duyarlı bir şekilde hareket edilmesi hem de enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

- b. Mevcut binaları daha yüksek enerji verimliliğine yükseltmek için planlar
- Binalarda enerji yönetim sisteminin kullanılması ve enerji tüketiminin sürekli olarak izlenmesi ve yönetilmesi,
 - Çift camlı yalıtımlı pencerelerin kullanılması ve pencere kenarlarındaki hava sızıntılarının engellenmesi,
 - Isıtma ve soğutma sistemlerinde zaman ayarlı termostat kullanımı ve bina içindeki farklı bölgelerin farklı sıcaklıkta olmasını sağlayacak şekilde bölgesel ısıtma/soğutma sistemi kurulması,
 - Binalarda aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılması ve ışık seviyesinin ihtiyaca göre otomatik olarak ayarlanması,
 - Bina içindeki gereksiz elektrik tüketimini önlemek amacıyla enerji tasarruflu ekipman ve cihazların kullanılması,
 - Binalarda güneş enerjisi, rüzgar enerjisi veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak enerji üretimi sağlanması,
 - Personel ve öğrencilerin enerji tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesi ve enerji verimliliği ile ilgili eğitimlerin düzenlenmesi.

- c. Karbon yönetimi ve karbondioksit emisyonlarını azaltmak

Öğrencilerin bisiklet kullanımı teşvik edilmekte ve çevre dostu bir ulaşım şekli teşvik edilmektedir. Ayrıca bisikletle yapılan ulaşımın sağlık üzerindeki olumlu etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bisiklet kullanımının artmasıyla beraber, kampüs içi ve çevresindeki yoğun trafik sorunu da hafifletilmiş, öğrenciler arasında daha çevreci bir bilinç oluşturulacaktır. Bu tarz sürdürülebilir ulaşım projeleri, hem karbon tüketimini azaltmak hem de çevre dostu ulaşım alternatiflerini teşvik etmek için önemli adımlardır.

- d. Genel enerji tüketimini azaltmak için enerji verimliliği planı

Acil Eylem Planı:

- Geri ödeme süresi 1 yıl ve daha az olan projelerin uygulanması,
- Yakma sistemlerinde Baca gazı analizörü ile Brülör yanma ayarlarının her sezon başında yapılması,
- Personellere enerji verimliliği konusunda seminerler düzenlenmesi ve faydalarının anlatılması,
- Afişler ve broşürlerle kamuoyunu bilinçlendirme,
- Elektrik anahtarlarına enerji tasarrufu uyarı notlarının konulması,
- Enerji Haftası etkinliklerinin düzenlenmesi.

Orta Vade Planı:

- Etüt sonuçlarına göre binaların izolasyon eksikliklerinin giderilmesi,
- Kalorifer mekanik tesisatında boru ve kazan içi temizliğinin yapılması,
- Verimsiz kapı ve pencerelerin değiştirilmesi veya pvc contalarının yenilenmesi,
- Isı üreten güneş panellerinin kullanımının yaygınlaştırılması.

İleri Vade Planı:

- Güneşten elektrik üretimi için uygun mahallerin belirlenerek fizibilite çalışmalarının yapılması,
- Sürekli elektrik ve ısı ihtiyacı olan binalarda (örneğin hastaneler) kogenerasyon sistemlerinin fizibilite çalışmalarının yapılarak işletmeye alınması.

Bu planlar, enerji verimliliği konusunda kademeli ve stratejik adımların atılmasını önermektedir, böylece uzun vadede enerji tüketiminde önemli azalmalar sağlanması hedeflenmektedir.

- e. Enerji İsrafının en yüksek olduğu alanları belirlemek

Yeşil Kampüs Projesi kapsamında üniversite bünyesinde oluşturulacak birimlere temin edilmiş cihazlar şunlardır: Termal Kamera, Baca gazı Analizörü, Isı yalıtımı ölçümü (U-katsayısı ölçümü) cihazı, Aydınlatma Şiddeti cihazı, Ses ve Gürültü ölçüm cihazı, Kazan suyu için Sıvı iletkenlik ölçüm cihazları.

Bu cihazlarla, kampüs içindeki bina ve ısı üretim merkezleri için enerji etüdü yapılmış ve mevcut eksiklikler tespit edilmiştir. Bu adım, enerji verimliliğini artırmak ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla önemli bir adımdır. Böylece, enerji etüdü sonuçlarına dayanarak gerekli iyileştirmeler planlanabilecek ve uygulanabilecektir.

Yeşil kampüs, atık yönetimi, enerji ve iklim değişikliği, kampüs yerleşimi ve alt yapı, su yönetimi, ulaşım ve eğitim açısından sürdürülebilir bir üniversite amaçlamaktadır. Anacak enerji etüdü sadece enerji açısından binaların ve kampüsün incelenmesi için yapılan çalışmalardır. Dolayısı ile yeşil kampüs sadece enerji etüdünden ibaret değildir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bilgi ve teknoloji üreten, her türlü soruna çözüm arayan ve bunları yaparken de bir politikaya, planlamaya ve stratejiye göre hareket eden kurumlar olan Üniversitelere çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması konusunda da çok önemli görevler düşmektedir. GreenMetric'teki yeşil ölçüm göstergelerinin üniversite kampüsündeki son durumu incelendiğinde iklim değişikliği ile enerjinin yönetimi ve verimli kullanılmasının, iyileştirilmesi gereken en öncelikli alanların başında geldiği tesbit edilmiştir. Sürdürülebilir bir kampüs oluşturmak, öğrencilerin ve personelin çevre bilincini artırmak için de önemli bir fırsattır. Yeşil binaların ve çevre dostu uygulamaların kampüs içinde görsel olarak vurgulanması, sürdürülebilirlik konusunda farkındalık yaratır ve çevre dostu alışkanlıkların yaygınlaşmasına katkı sağlar. Yeni kurulan ve kurulacak olan üniversitelerin bu faktörler göz önünde bulundurularak inşa edilmesi gerekmektedir.

Çalışma süresince yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda, binaların enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıplarını minimize etmek adına çeşitli önlemler alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Kolonlardan ve pencerelerden gelen fazla ısı kayıplarının önlenmesi için yalıtım uygulamalarının yapılması, deforme olmuş pencerelerin yenilenmesi veya onarılması gerekmektedir.

Ayrıca, belirtilen binalardaki duvarlardaki yalıtımların iyileştirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu sayede binaların enerji tüketimi azalacak ve daha sürdürülebilir bir yapıya dönüşebilecektir. Merkezi ısıtma sistemi ve yüzme havuzu kazanları arasındaki verimlilik farkının incelenmesi sonucunda, merkezi ısıtma sisteminin daha verimli olduğu ve hali hazırda bulunan baca gazı kondenserinin revize edilerek sistemin daha verimli hale getirilebileceği belirlenmiştir. Su yumuşatma işlemi başarılı olduğu için kazan gövdesi ve ısıtma sistemlerinin korozyona maruz kalmayacağı öngörülmüştür.

Sonuç olarak, yapılan analizler ve öneriler doğrultusunda binalarda enerji verimliliğini artırmak ve kaynakları daha verimli kullanmak amacıyla gerekli adımların atılması gerekmektedir. Bu sayede hem çevreye duyarlı bir yaklaşım sergilenmiş olunacak hem de uzun vadede enerji maliyetlerinden tasarruf sağlanacaktır.

Sonuçlara göre kampüste genel enerji verimliliğini azaltmak için uygulamaya konulması planlanan ve önerilen enerji verimliliği planı aşağıda verilmiştir(<https://yesilkampus.sdu.edu.tr/tr/hedeflerimiz/enerji-ve-iklim-degisikligi-13487s.html>, 2022):

Acil eylem Planı;

Acil Eylem Planı:

- Geri ödeme süresi 1 yıl ve daha az olan projelerin uygulanması,
- Yakma sistemlerinde Baca gazı analizörü ile Brülör yanma ayarlarının her sezon başında yapılması,
- Personellere enerji verimliliği konusunda seminerler düzenlenmesi ve faydalarının anlatılması,
- Afişler ve broşürlerle kamuoyunu bilinçlendirme,
- Elektrik anahtarlarına enerji tasarrufu uyarı notlarının konulması,
- Enerji Haftası etkinliklerinin düzenlenmesi.

Orta Vade Planı:

- Etüt sonuçlarına göre binaların izolasyon eksikliklerinin giderilmesi,
- Kalorifer mekanik tesisatında boru ve kazan içi temizliğinin yapılması,
- Verimsiz kapı ve pencerelerin değiştirilmesi veya pvc contalarının yenilenmesi,
- Isı üreten güneş panellerinin kullanımının yaygınlaştırılması.

İleri Vade Planı:

- Güneşten elektrik üretimi için uygun mahallerin belirlenerek fizibilite çalışmalarının yapılması,
- Sürekli elektrik ve ısı ihtiyacı olan binalarda (örneğin hastaneler) kojenerasyon sistemlerinin fizibilite çalışmalarının yapılarak işletmeye alınması.

Bu planlar, enerji verimliliği konusunda kademeli ve stratejik adımların atılmasını önermektedir, böylece uzun vadede enerji tüketiminde önemli azalmalar sağlanması hedeflenmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, SDÜ Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenen FBG-2020-8057 numaralı projeye verilen destekleri için SDÜ'ye teşekkürü bir borç bilirler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aydın, E. H., Çunkaş, M., 2019. Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesi Enerji Talebinin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Karşılanması. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 241-252.
- Bayramoğlu, E., 2016. Sürdürülebilir Peyzaj Düzenleme Yaklaşımı: KTÜ Kanuni Kampüsü'nün Xeriscape Açısından Değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(2), 119-127.
- Çanka Kılıç F., 2017 Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 147-158.
- Esin, N., Tekçe, I., 2012. Eğitime Yeni Bakış ve Okul Binaları Tasarımındaki Yansımaları. Güney Mimarlık, 9, 32-33.
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N., Ayol, A., 2017. Yeşil Kampüs Uygulaması: Kampüs Atıksularının Sulama Amacıyla Yeniden Kullanımı. Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi, 46, 34-39.
- Gelişen, G., Güzelkokar, O., 2019. Mevcut Yapıların Sürdürülebilir Yeşil Binalara Dönüştürülmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2 (2), 76-90.
- GreenMetric, 2022. <http://greenmetric.ui.ac.id/>, Son erişim tarihi 13.03.2022.
- Gümüşbaş, S., 2023. Süleyman Demirel Üniversitesi İçin Yeşil Kampüs Enerji Uygulamaları Fizibilite Etüdü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 87 s.
- Günerhan, S. A., Günerhan, H., 2016. Türkiye için Sürdürülebilir Üniversite Modeli. Mühendis ve Makina, 57(682), 54-62.
- Güven, A. F., Yörükere, N., 2022. Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması-Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritma Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 12(2), 853-879.
- Hajrasouliha, A., 2017. Campus Score: Measuring University Campus Qualities. Landscape and Urban Planning, 158, 166-176. <https://yesilkampus.sdu.edu.tr/tr/hedeflerimiz/enerji-ve-iklim-degisikligi-13487s.html>, 2022. Son erişim tarihi 10.03.2022.
- <https://vetenerji.com/bina-enerji-etut-proje-ve-raporlama/>, 2022. Son erişim tarihi 13.03.2022.
- <https://yesilkampus.sdu.edu.tr/tr/hedeflerimiz/enerji-ve-iklim-degisikligi-13487s.html>, 2022. Son erişim tarihi 09.03.2022.
- Kaya, S. K., Dal, M., Aşkın, A., 2019. Türkiye'deki Devlet ve Vakıf Üniversite Kampüslerinin Sürdürülebilir Ekolojik Parametreleri Açısından Karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(1), 106-125.
- Kayhan, K. S., Tönük, S., 2011. Sürdürülebilirlik Bilincinin İnşa Edileceği Binalar Olma Yönü ile Temel Eğitim Okulları. Politeknik Dergisi, 14(2), 163-171.
- Kocabaş, İ., Bademcioğlu, M., 2016. Sustainability in Education Buildings. International Online Journal of Educational Sciences, 8(3), 180-192.
- Kuzey arıtma, 2019. https://www.kuzeyarıtma.com/index.php?route=pavblog/blog&blog_id=14. Son erişim tarihi 20.04.2022.
- Mamur, H., Yakar, M. C., Zerafet, A., 2019. Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 11(1), 51-58.
- Olszak, E., 2012. Composite Indicators for a Sustainable Campus-Design Rationale and Methodology: The Case of the Catholic Institute of Lille. Ecological indicators, 23, 573-577.
- 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.
- Saygın, N. ve Ulusoy, P., 2011. Sürdürülebilir Kampüs Tasarımı İçin Yağmursuyu Yönetimi ve Yeşil Altyapı Teknikleri. Politeknik Dergisi, 14 (3), 223-231.
- Suwartha, N., Sari, R. F., 2013. Evaluating UI GreenMetric as a Tool to Support Green Universities Development: Assessment of The Year 2011 Ranking. Journal of Cleaner Production, 61, 46-53.
- Süt, N. İ., Hamurcu, M. ve Eren, T., 2019. Kampüste Yeşil Ulaşım Uygulaması: Ring Araçlarının Seçimi İçin Bir Karar Verme Süreci. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD), 5(1), 9-21.
- Şahin, B. E., Dostoğlu, N., 2015. Okul Binaları Tasarımında Sürdürülebilirlik. Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 20(1), 75-91.
- Tan, H., Chen, S., Shi, Q. ve Wang, L., 2014. Development of Green Campus in China. Journal of Cleaner Production, 64, 646-653.
- Tavşan, F. ve Yanılmaz, Z., 2019. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Yaklaşımlar. Sanat ve Tasarım Dergisi, (24), 359-383.
- Tonguç, B., 2012. Sürdürülebilir Tasarımın Okul Öncesi Eğitim Yapıları Örneğinde İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yapıcı, S., Oral, N., Yumuşak, R., Eren, T., 2021. Sürdürülebilir Yeşil Kampüs İçin Analitik Ağ Prosesi Yöntemi İle Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. Kent Akademisi, 14(3), 777-788.
- Yılmaz, M. S., Mehmet, R. İ. D. A., Özhan, D., 2023. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşılanması: Teknik ve Ekonomik Analizi. Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(2), 100-111.