



Planning the monitoring process and energy performance evaluation in historical buildings: The case of Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque

Ebru Ulaş Sarıaydın^{1*}, Başak Güçyeter², Hicran Hanım Halaç¹

¹Department of Architecture, Faculty of Architecture and Design, İki Eylül Campus, Eskişehir Technical University, 26555, Eskişehir, Türkiye

²Department of Architecture, Faculty of Engineering and Architecture, Eskişehir Osmangazi University, 26480, Eskişehir, Türkiye

Highlights:

- Energy performance analysis before restoration interventions
- Building monitoring and examination
- Thermal comfort evaluations in standards

Keywords:

- Historical Building
- Restoration
- Sustainability
- Energy Performance
- Monitoring

Article Info:

Research Article

Received: 14.12.2022

Accepted: 15.05.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218594

Correspondence:

Author: Ebru Ulaş Sarıaydın

e-mail:

ebruulas@ogr.eskisehir.edu.tr

phone: +90 507 041 7451

Graphical/Tabular Abstract

Studies on the effects of global climate change on historical buildings and intervention practices for efficient energy consumption have been a topical issue in recent years. This study deals with the importance of the current situation analysis of the building before the restoration interventions applied to the historical buildings and shares the analysis process through a case study. The processes of the study and the parameters examined in the processes are summarized in Figure A.

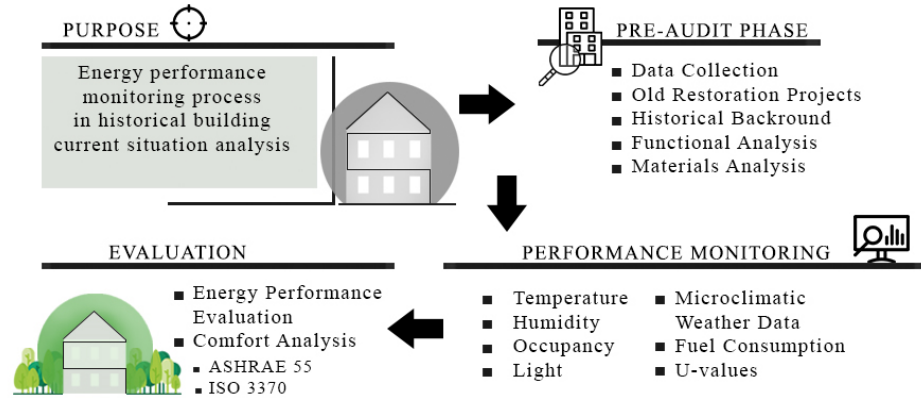


Figure A. Work flowchart of the research

Purpose: Maintenance and repairs are needed for the sustainability of historical buildings over the periods. Restoration intervention contents for planned repairs are shaped by experts according to the individual needs of each building. This study aims to emphasize the necessity of energy performance monitoring and supervision in conscious restoration planning. In order to determine the building needs, it provides an audit example in the scale of internationally accepted standard conditions by using monitoring data in the building condition analysis.

Theory and Methods: In the article in which energy performance monitoring is discussed, the method of monitoring in intermittent/repetitive periods was used and the process plan was created in 4 periods including all seasons. Outdoor climate data of the building location for all periods, indoor temperature (°C), indoor relative humidity (%), user presence (%), on/off status of lighting elements (%), building gas consumption (kWh), building elements thermal conductivity coefficients (W/m²K) were stored using appropriate devices and necessary processes. The data obtained during the periods were evaluated according to the international standards and guidelines ASHRAE 55 and EN ISO 7730 in terms of indoor thermal comfort conditions and energy performance.

Results: In the multi-functional Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque, different sealing status detection at different elevations, different intervention requirements, controlled management attention to the effect of the user on the building comfort, thermal comfort requirements in different places have been determined. It is presented in the current study that the case in question does not meet the thermal comfort conditions in the standards at a high rate, with numerical data and graphical representations.

Conclusion: The findings obtained from the case study provide a base quality before the restoration applications, provide benefit in recognizing and reading the heritage structure to be applied, and provide an opportunity to prevent unnecessary and wrong interventions to be applied to the structure.



Tarihi yapılarda izleme sürecinin planlanması ve enerji performans değerlendirmesi: Tiryakizade Süleyman Ağa Cami örneği

Ebru Ulaş Sarıaydın^{1*}, Başak Güçyeter², Hicran Hanım Halaç¹

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bademlik Kampüsü 26480, Eskişehir, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Restorasyon uygulamaları öncesi enerji performans analizi
- Performans analizinde bina izleme ve denetim
- Uluslararası standartlara göre iç mekan ısı konfor değerlendirmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 14.12.2022

Kabul: 15.05.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218594

Anahtar Kelimeler:

Tarihi yapı,
restorasyon,
sürdürülebilirlik,
bina enerji performansı,
izleme

ÖZ

Enerji verimliliği çalışmaları kapsamında kültürel miras yapılarının dönüşümleri son yıllarda ciddi bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışma, bir kültürel miras binasını korurken uygulanacak müdahalelerde yapının mevcut durumunun analizinin, izleme ve denetimin önemine dair vurgu amaçlamaktadır. Bu amaç kapsamında tarihi bir yapıdaki enerji performansı izleme sürecini bir vaka çalışması olarak sunmaktadır. Eskişehir'in, Odunpazarı ilçesinde bulunan, 18.yy yapısı Tiryakizade Süleyman Ağa Cami, zemin katı kafeterya üst katı cami olmak üzere çok fonksiyonlu kullanıma sahiptir. Fonksiyon çeşitliliğine bağlı kullanım ve kullanıcı yoğunluğu değişken olan yapının enerji performans izlemesi 2022 yılı içerisinde kesikli/tekrarlı periyod yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapı konumuna ait dış iklim verileri, iç mekân sıcaklık (°C), iç mekân bağıl nem (%), kullanıcı varlığı (%), aydınlatma elemanlarının açık/kapalı durumları (%), yapı doğal gaz tüketimi (m³) ve elektrik tüketimi (kWh), yapı elemanları ısı geçirenlik katsayıları (W/m²K) uygun cihazlar ve yöntemler kullanılarak izlenmiştir. Tüm mevsim sezonlarından elde edilen yapı izleme verileri, uluslararası standartlar olan ASHRAE 55 ve ISO 7730'a göre değerlendirilmiş standartlarda yer alan iç mekân ısı konfor şartlarına yapı içi ısı durumu incelenmiştir. Ele alınan vakanın standartlarda yer alan ısı konfor şartlarını yüksek oranda sağlamadığı tespit edilmiştir. Ulaşılan tespite yönelik yapı kabuğu, sızdırmazlık, kullanıcı faktörü gibi parametreler değerlendirmeye alınmış ve ilerleyen çalışmalar için detay araştırma noktaları belirlenmiştir.

Planning the monitoring process and energy performance evaluation in historical buildings: The case of Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque

HIGHLIGHTS

- Energy performance analysis before restoration interventions
- Building monitoring and inspection in performance analysis
- Indoor thermal comfort evaluation according to international standards

Article Info

Research Article

Received: 14.12.2022

Accepted: 15.05.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218594

Keywords:

Historical building,
restoration,
sustainability,
building energy
performance,
monitoring

ABSTRACT

The transformation of heritage buildings within the scope of energy efficiency studies has become a serious research area in recent years. This study aims to emphasize the importance of analysis, monitoring and control of the current state of the building in interventions to be applied while protecting a heritage building. Within the scope of this purpose, it presents the energy performance monitoring process in a historical building as a case study. Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque, which is an 18th century structure located in Eskişehir's Odunpazarı district, has a multifunctional use as a cafeteria and a mosque. The energy performance monitoring of the building, whose user density is variable depending on the variety of functions, was carried out in 2022 using the discrete/repetitive period method. Outdoor climate data of the building location, indoor temperature (°C), relative humidity (%), user presence (%), on/off status of lighting elements (%), gas consumption (kWh), thermal transmittance coefficients of building elements (W/m²K) were monitored using appropriate devices and methods. The building monitoring data obtained from all seasons were examined according to the indoor thermal comfort conditions in the standards evaluated according to the international standards ASHRAE 55 and ISO 7730. It has been determined that the case in question does not meet the thermal comfort conditions in the standards at a high rate. Parameters such as building envelope, impermeability and user factor for the determination reached were evaluated and detailed research points were determined for further studies.

1. Giriş (Introduction)

Sürdürülebilir kültürel miras net bir kavram olmamakla birlikte [1] kültürel miras ve sürdürülebilirlik kavramları birbiri ile güçlü bir bağlantıya sahiptir. Kültürel mirasın tanımında yer alan nesiller boyu aktarılma, sürdürülebilir korumayı ve varlığının devamını ifade etmektedir [2]. Kültürel mirasın korunmasında sürdürülebilirlik başlığı son yıllarda önemli çalışma alanları içerisinde yer almakta ve farklı kapsamlarda ele alınmaktadır. Gonçalves vd. [3] tarafından yapılan sistematik literatür taramasında 140 makale incelemeye alınmış ve tarihi mirasların sürdürülebilir korumasında ele alınan başlıklar sınıflandırılmıştır. Elde edilen veri sınıflandırması, çalışmaların dört farklı grupta konumlandığını ortaya koymuştur. Kültürel mirasın sürdürülebilmesine yönelik girişimlerin genellikle (a) yerel halk odaklı, (b) turist ve ziyaretçi odaklı, (c) işletme odaklı ve (d) paydaş ve karar verici odaklı olarak ortaya çıktığı saptanmıştır. Kültürel mirasa ilişkin sürdürülebilirlik yaklaşımlarının ağırlıklı olarak sosyal boyutta ele alındığı ve toplum katılımı vurgusunun sıklıkla çalışıldığı Gonçalves vd. 'nin çalışma istatistiklerinde paylaşılmıştır. Katılımcı toplum ile tarihi yapıların kullanım devamlılığının sağlanması kabul edilen bir koruma stratejisi olsa da [4] son on yılda tarihi yapıların fiziksel korunumu, işlevsel çekiciliği, yapı ve malzeme sağlığı, ısı konforu, enerji tüketimi, enerji verimliliği ve konfor [5-8] gibi yapı fiziği konuları koruma alanındaki uluslararası alan yazınında daha sık görülür hale gelmiştir. Küresel iklim değişimi ve enerji verimliliği çalışmaları kapsamında tarihi yapıların da dikkate alınmaya başlaması sonucunda 2010 yılından itibaren bu alanda yapılan çalışmaların yayımlanma sıklığı artmıştır. İklim değişikliğinin tarihi yapıların iç ortam sıcaklıklarını etkilemesi, korunması gereken eserlerde aşınmaya sebep olması, kullanıcıların ısı konforunun etkilenmesi gibi faktörlere dayalı olarak tarihi yapılarda da artan bir enerji talebi ortaya çıkmış, dolayısıyla tarihi yapılar binalarda enerji verimliliği alanında tartışılır hale gelmiştir [9].

Kültürel sürdürülebilirlik bakımından varlıklarının devamlılığı önemli olan tarihi yapıların strüktürel bütünlüğünün korunması bakımından restorasyon müdahaleleri zorunludur. Mevcut yapıların servis ömrü kapsamında strüktürel ve ısı performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, gerekli iyileştirmelerin tespiti ve bilinçli uygulamasına olanak tanımakta böylelikle tarihi yapılarda verimlilik olanaklı hale gelmektedir [10]. Modern yapılarda kullanılan servis sistemlerinin tarihi yapılarda bulunmaması, mevcut yapı malzemesi ve yapı bileşenlerinin katman kurgularındaki fiziksel davranışlarının tespit edilmesindeki güçlükler, süreç içerisinde malzemelerin niteliklerinde gerçekleşen değişimler gibi faktörler iç ortam koşullarını da doğrudan etkilemekte olup tarihi binalarda izleme çalışmalarını zorunlu hale getirmektedir [8]. Tarihi bir binanın performansının değerlendirmesinde yerinde izleme ve gözlem, ölçüm, sayısal analiz gibi tahribatsız yöntemler ya da numune alımı, karot, basınç testi gibi tahribatlı yöntemler kullanılabilir, malzeme, mukavemet ve iç ortam koşullarına yönelik değerlendirmeler yapılabilmektedir [11]. Tarihi yapılara ait iç ortam koşullarının ölçümü ve belirli bir süreyle bu verilerin izlenmesi ve yapı kabuğuna dair gerçekleştirilecek ölçümler aracılığıyla bir tarihi yapının enerji ve konfora ilişkin performansının saptanması ve iyileştirmeye yönelik müdahalelerin saptanması olanaklıdır [10]. Ortam koşulları ve malzeme fiziksel özellikleri bilinen bir tarihi yapı için simülasyon modelleme yöntemi ile iyileştirme müdahaleleri test edilebilmekte ve iyileştirme sonucunda enerji performansındaki değişimler tartışılabilir. Koruma ile entegre enerji verimliliği ve ısı konfora yönelik izleme çalışmaları irdelendiğinde izleme sürelerinin farklılık gösterdiği saptanmıştır. Bazı çalışmalarda en az bir yıl süreyle uzun dönemli izleme yaklaşımı uygulanırken [12-15] diğer çalışmalar farklı mevsimlerde yürütülen kısa dönem/tekrarlı izleme

çalışmaları [16-19] aracılığıyla bina performans analizleri yürütmüştür. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde hem uzun ve hem de kısa süreli izleme verilerinin tarihi binaların enerji performansının saptanmasında kullanılabildiği ve bu verilerin simülasyona entegre edildiği, ileriye dönük iyileştirmelerin potansiyellerinin simülasyon çıktıları üzerinden değerlendirildiği görülmüştür [13, 20-22].

Kısa dönem/tekrarlı izleme yönteminin kullanıldığı bu çalışmanın amacı, bir izleme süreci uygulanmaksızın hayata geçirilmiş restorasyon müdahaleleri sonrası örnek yapılarındaki durumun saptanması, yıpranma ve bakımsızlık sonucu gerekebilecek müdahale tekrarlarının ortaya konması ve izleme sürecinin iyileştirmelerin belirlenmesindeki öneminin vurgulanmasıdır. Bu çalışma kapsamında herhangi bir izleme süreci olmaksızın restorasyon kararları uygulanmış olan tarihi bir yapı izleme sürecine alınmış, izleme sürecinde elde edilen iç ortam ısı koşulları ve enerji performans verileri aracılığıyla tarihi yapının performansı ASHRAE 55 ve ISO 7730 Standartlarında yer alan sınır değerlere göre değerlendirilmiştir.

Vaka çalışması olarak Eskişehir İl'inin Odunpazarı İlçesi'nde yer alan 1778 yılında inşa edilmiş Tiryakizade Süleyman Ağa Cami seçilmiştir. Bu yapının seçilme nedenleri (1) caminin, performansını iyileştirmeye yönelik restorasyon geçirmiş olması, (2) bağımsız ve verilerine ulaşılabilen bir ısıtma sistemine sahip olması olarak özetlenebilir. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami, zemin kat kafeterya, birinci kat ve asma kat cami olmak üzere çok fonksiyonlu bir kullanıma sahiptir. Caminin geçirdiği son restorasyon 2013 yılına ait olup, 2014 yılında ısıtma sisteminin değiştirilmesine yönelik tadilat geçirmiş ve restorasyon kararlarında revizyonlar gerçekleştirilmiştir. Peş peşe müdahale geçirmiş yapılara örnek bir restorasyon örneği olan caminin mevcut durumunun irdelenebilmesi amacıyla kısa dönem/tekrarlı bir izleme çalışması yürütülmüştür.

Tekrarlı olarak planlanan izleme süreci dört periyod halinde yürütülmüştür. Isıtma sezonuna ait olan Mart ayı birinci ölçüm periyodunu, Nisan ayı ikinci periyodu, serbest sezona ait olan Mayıs ayı üçüncü periyodu ve Ağustos ayı son izleme periyodunu kapsamaktadır. İç mekan için sıcaklık (°C), bağıl nem (%), aydınlatma (%), kullanıcı varlığı (%), dış mekan için ise dış sıcaklık (°C), dış bağıl nem (%), güneş ışınımı (W/m²), rüzgar hızı (m/s), rüzgar yönü (°), bulutluluk faktörleri ölçüm ya da temin yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen izleme verileri uluslararası kabul görmüş standartlarca değerlendirilmiş, yapının mevcut durum analizleri yapılmıştır.

2. Yöntem (Method)

Çalışmanın yöntemi dört etap olarak planlanmıştır. İlk etapta, örneklem yapıya ait geçmiş rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri, arşiv belgeleri, evrak, fotoğraf, kullanıcı görüşmeleri gibi sözlü yazılı tüm veriler toplanmış, kurul ve müftülük izinleri tamamlanmıştır. İkinci etap, geçmiş restorasyon, tadilat projelerinin ve raporlarının incelenmesini içermektedir. Gerekli incelemeler sonrasında farklı yapı malzemeleri, özgün ve değişen malzeme verilerine göre tüm cepheleri içerecek planlamalara göre ölçüm ekipman dağılımları yapılmış ve ölçüm sıklıkları oluşturulmuştur. Üçüncü etapta, ölçüm süreci planlanması tamamlanmış, cihaz kalibrasyonları sağlanmış, izleme sürecinde veri toplamak amacıyla kullanılan cihazlar belirlenen noktalara yerleştirilmiş, belirli periyodlarla cihazlardan veri toplanmış ve toplanan veriler dönemsel olarak kataloglanmıştır. Dördüncü ve son etapta ise izleme sürecinde toplanan veriler iç ortam ısı konfor koşulları ve enerji performansı bakımından uluslararası standart ve kılavuzlar olan ASHRAE 55 ve EN ISO 7730'a göre değerlendirilmiştir.

2.1. Vaka Çalışması: Tiryakizade Süleyman Ağa Cami (Case Study: Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque)

Eskişehir'in Odunpazarı İlçesinde yer alan Cami, adını aldığı Tiryakizade Süleyman Ağa tarafından 1778 yılında yaptırılmıştır. Vakıflar Genel Müdürlüğü mülkiyetinde bulunan cami, tapuda Şarkıye Mahallesi, 27 pafta, 149 ada, 1-2-3 parsel numarası ile kayıtlı, anıtsal yapı tescilindedir. 2013 yılında Eskişehir Türk Dünyası Kültür Başkentliği Ajansı (TDKB) tarafından Kalıcı Eserler projeleri kapsamında son restorasyonunu geçiren Tiryakizade Hasan Paşa Cami, restorasyon sonrası isim değişimine uğramış ve Tiryakizade Süleyman Ağa Cami olarak yenilenmiştir [23]. 1909 yılında tamir ve bakıma gerektiren cami için restorasyon kararı alınmış ve cami, temelden itibaren yenilenmiş, bugün ziyaret edilen hale getirilmiştir. Altı adet işyeri mekânı bulunan caminin zemin katı, 2013 yılında geçirdiği restorasyonda tek mekana dönüştürülmüş ve bugünkü işlevi olan yeme-içme fonksiyonu yapıya entegre edilmiştir. Yapımında moloz taş kullanılan caminin 2013 yılı restorasyonunda cephe sıvası raspalanmış ve taş malzeme açığa çıkarılmıştır. Restorasyon öncesi sıva üstü yeşil boya kaplı cephe (Şekil 1a), yapı malzemesinin belirgin hale geldiği bir görünüşe sahip olmuştur (Şekil 1).

Ayrık nizam olarak planlanmış yapının Güney ve Doğu cepheleri trafiğe açık iki caddeye paraleldir. Odunpazarı'nın merkezinde yer alan caminin cephe aldığı caddeler semtin girişindeki en işlek caddelerindedir. Yapı, kendi parseli içerisinde batı cephesine bakan bir avluya sahiptir. Caminin zemin kat doğu ve güney cephelerinde Tiryakizade Kıraathanesi'ne ait pencereler bulunmaktadır. Kafeteryanın girişi doğu cephesinden, caminin cemaat girişi zemin kat kuzey cephesinden ve kadınlar girişi batı cephesindeki avlu tarafından sağlanmaktadır. Zemin katta kafeterya bölümü ile birlikte camiye ait girişler bulunmakta olup üst katta son cemaat ve harim bölümü yer almaktadır. Eğimli arazi üzerinde yer alan, çok fonksiyonlu kullanım içeren yapının zemin kat yüksekliği 3,10 m'dir. Birinci katta bulunan caminin harim bölümü yüksekliği 6,35 m iken üst kotunda kadınlar mahfili bulunan son cemaat bölümü yüksekliği 2,80 m'dir. Asma katta yer alan, 85,30 m² kullanım alanına sahip kadınlar mahfili yüksekliği ise 2,30 m'dir (Tablo 1). Örneklem yapıya ait detaylı bilgi Tablo 1'de sunulmuştur.

Caminin zemin katı yığma moloz taş, üst katlar ise hıms sistem arasında taş donatı şeklinde kurgulanmıştır. Hıms, dikme veya payandalardan oluşturulan ahşap çatki sistemi arasına kerpiç, tuğla veya taş malzemelerin doldurulması ile oluşturulmaktadır. Eskişehir Vakıflar Genel Müdürlüğü'nden alınan Tiryakizade rölöve ve restorasyon raporlarına göre caminin zemin katında yığma yapıım sistemi, üst katlarda hıms yapıım tekniği kullanılmıştır [24,-25]. Zemin katta bulunan kafeteryanın toplam pencere alanı 47,50 m² iken cami fonksiyonuna ait pencere alanı 41,75 m²'dir. Çok fonksiyonlu kullanıma sahip binaya ait pencere düzenleri Şekil 3'te sunulmakta olup, zemin kat kafeteryada yer alan geniş pencereler cami fonksiyonunda yüksekliği fazla pencere kurguları ile hem erkek cemaate hem de asma katta ibadet eden kadın cemaate hizmet etmektedir. Tüm binadaki toplam pencere alanının yapı kabuğuna oranı, %15 düzeyindedir (Tablo 1).

2.2. İzleme Sürecinin Planlanması (Planning the Monitoring Process)

Örneklem cami yapısında yürütülecek izleme çalışmasına dair görüşmeler Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü ve Odunpazarı Müftülüğü ile gerçekleştirilmiş, gerekli izinler alınmıştır. Cami içerisine yerleştirilecek veri kaydedicilerin duvarlara yapıştırılmasında tarihi yapıya zarar vermeme hususlarına dair önlemler alınmış ve kurul üyelerine sunulmuştur. Gerekli izinlerin sağlanmasının ardından duvarlara yerleştirilecek cihazlara dair bilgilendirmeler cami imamı, dernek başkanı ve camide görev alan kişilere aktarılmıştır.

Kullanılan izleme yöntemi, kısa dönem/tekrarlı periyodlar halinde planlanmış ve tüm mevsimleri kapsayacak planda yapı izlemeleri sürdürülmüştür. Yapının iç mekân ısı ortam koşullarını ve yapı malzemelerinin ısı transferindeki rolünü anlamak ve incelemek adına farklı katlardaki mekanlara enerji performans parametrelerinin izlenebilmesi amacıyla veri kaydedici cihazlar yerleştirilmiş, belirlenen sıklıklarda izleme gerçekleştirilmiştir. Planlanan yapı içi izlemesinde kullanılan cihazlar TESTO 174H ve HOBO UX90-005 veri kaydedicileridir (Şekil 2, Tablo 2). Yapıdaki gaz tüketim verisi için cami ve kafeye ait aylık faturalar temin edilmiş ve performans analizinde kullanılmıştır.



Şekil 1. Caminin 2013 yılı restorasyonuna ait görseller [25]: (a) Raspa öncesi, (b) Süreç görüntüsü, (c) Raspa sonrası
(Images of the 2013 restoration of the mosque: (a) Before scraping, (b) Scraping process, (c) After scraping)

Tablo 1. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami binasına ait genel bilgiler
(General information about Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque building)

Binaya ait Genel Bilgiler	Zemin Kat	Birinci Kat	Asma Kat	Toplam
Toplam Kullanım Alanı (m ²)	261,25	270,45	85,30	617,00
Kat Yüksekliği (m)	3,10	6,35 (harim)- 2,80 (son cemaat)	2,30	
Hacim (m ³)	838,10	1.452,40	195,90	2.486,40
Toplam Pencere Alanı (m ²)	47,50	41,75 (ortak pencere)		89,25
Toplam Pencere Oranı (%)	89,25 / 597,00			14,95
Toplam Cephe Alanı (m ²)		597,00		597,00
Kompaktlık (Toplam Cephe Alanı/Hacim)	597,00/2.486,40			0,24

Ayrık nizam oturma sahip caminin tüm cephelerine yerleştirilen veri kaydedicilerin dağılımı, farklı davranış göstereceği düşünülen malzeme yüzeylerine ve kafeterya, cemaat bölümü, kadınlar mahfili gibi farklı kotlarda yer alan mekanlara, metrekaresine hesabına göre planlanmıştır. Örneklem yapının bulunduğu çalışma alanına ait yerel iklim verilerinin tespiti için yakın konumda yer alan Osmangazi Üniversitesi Bademlik Kampüsü'ndeki Davis Vantage Pro2 Mikroklimatik Hava İstasyonu aracılığıyla ölçüm süresince dış iklim verileri toplanmıştır. Dış ortam iklimine ait sıcaklık (°C), bağıl nem (%), güneş ışıması (W/m²), rüzgar hızı(m/s) ve rüzgar yönü(°) verileri 10'ar dakikalık ritimlerde Davis Vantage Pro2 Mikroklimatik Hava İstasyonu kullanılarak, saatlik bulutluluk faktörü (0–1) ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) bağlı yerel meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Bina izleme planlaması için gerekli görülmüş parametreler, izlemede kullanılan cihazlar ve izleme sıklıklarına ait detaylar Şekil 2 ve Tablo 2'de belirtilmiştir. Toplamda 617,0 m² kullanım alanına sahip (Tablo 1) yapının zemin katında yer

alan kafeteryaya, 3 adet TESTO 174H sıcaklık ve nem veri kaydedici, 2 adet HOBO UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedici yerleştirilmiştir. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar gözetilerek planlanan cihaz dağılımında birinci kat sıcaklık-nem takibi için Tiryakizade Cami harim bölümüne 7, son cemaat bölümüne 1 adet TESTO 174H veri kaydedici yerleştirilmiştir. Aydınlatma kullanımı, doluluk ve kullanım süresi takibi için harim bölümüne 2 adet, son cemaat bölümüne 1 adet HOBO UX90-005 kayıt cihazı asılmıştır. Kadınlar mahfiline asılan, iki ölçüm için de birer adet cihaz ile birlikte toplam yapı genelinde 12 TESTO 174H, 5 HOBO UX90-005 kayıt cihazı bulunmaktadır (Tablo 3).

İç ortam hava kalitesi, ısıl konfor, binalarda enerji tasarrufu ve emisyonların azaltılması konularında standart ve kılavuzlar yayınlayan American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), test yöntemleri, ekipmanların tasarım ve kurulumlarına dair öneriler sunmaktadır. Ortalama sıcaklık



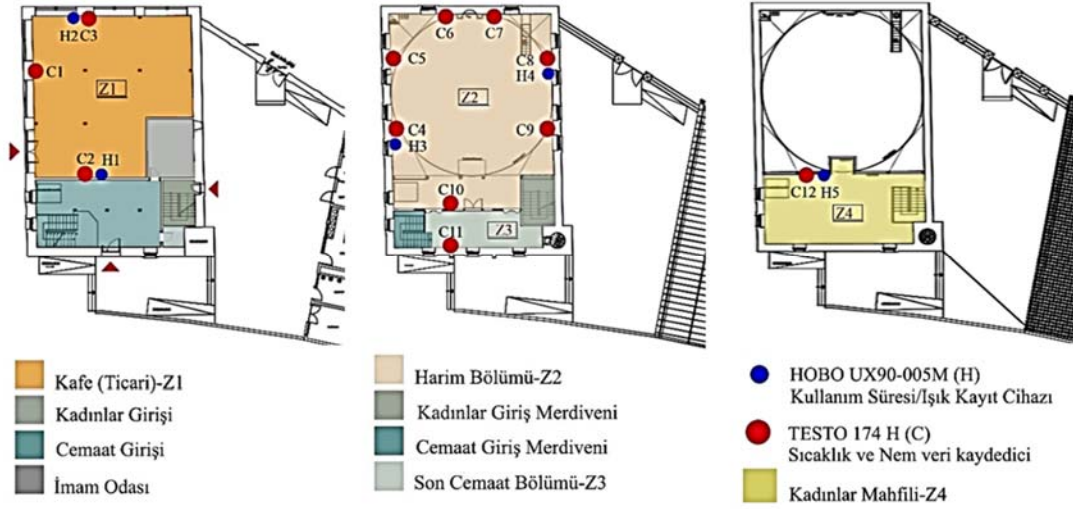
Şekil 2. Çalışmada kullanılan ölçüm ekipmanları (Measurement equipment used in the study)

Tablo 2. İzlenen enerji performans parametreleri ve izleme sıklığı [26]
(Monitored energy performance parameters and monitoring frequency)

İzlemeye tabi tutulan enerji performans parametreleri	İzleme aralığı	Kullanılan cihaz
İç Mekan Sıcaklık (°C)	10 min.	TESTO 174H Sıcaklık ve Nem Veri Kaydedici
İç Mekan Bağıl Nem (%)		
Kullanıcı varlığı (%)	1 min.	HOBO UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedici
Aydınlatma açık/kapalı (%)		
Gaz tüketimi (kWh)	1 aylık	Aylık faturalar
U-değeri (W/m ² K)	Çoklu ölçüm	Testo 435-2 + radyo frekans dış sıcaklık ölçüm probu + thermocouple duvar sıcaklık probu
Dış Sıcaklık (°C)	10 min.	
Dış Bağıl nem (%)	10 min.	Davis Vantage Pro2 Mikroklimatik Hava İstasyonu
Toplam yatay güneş ışıması (W/m ²)	10 min.	
Rüzgar hızı (m/s)	10 min.	
Rüzgar yönü (°)		
Bulutluluk faktörü (0–1)	1 h.	Meteoroloji Verisi

Tablo 3. Yapı mahallerine asılan cihaz sayıları (Number of devices hanged in building areas)

Kat	Mahal	Cihaz sayısı
Zemin Kat	Kafeterya	
	Kadınlar Girişi	
	Cemaat Girişi	3 TESTO 174H - 2 HOBO UX90-005
	İmam Odası	
	Enerji Odası	
Birinci Kat	Harim Bölümü	7 TESTO 174H - 2 HOBO UX90-005
	Kadınlar Giriş Merdiveni	
	Son Cemaat Bölümü	1 TESTO174H
Asma Kat	Kadınlar Mahfili	1 TESTO 174H - 1 HOBO UX90-005
	Sirkülasyon Alanı	
Toplam		12 TESTO 174H - 5 HOBO UX90-005



Şekil 3. Veri kaydedicilerin lokasyonları: Zemin kat, Birinci kat, Asma kat
(Lokation of dataloggers: Ground floor, First floor, Mezzanine floor)

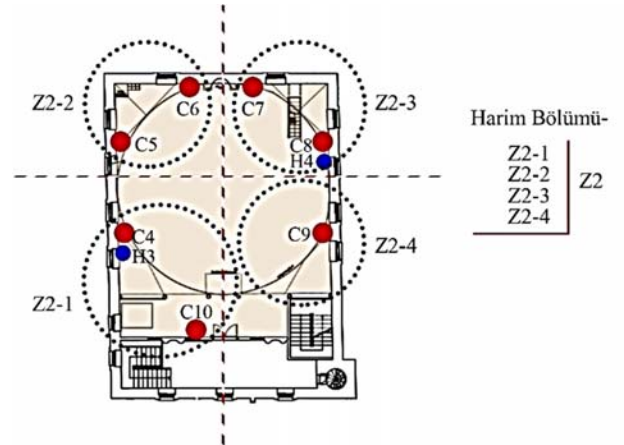
okumalarında dikkate alınan seviyeler, ayak bileği, bel ve baş seviyeleridir. Oturanlardan oluşan grup için ölçüm alınması gereken yükseklik 0,60 m iken ayakta duran kullanıcı çevresinde ölçüm alınması gereken yükseklik ise 1,10 m olarak belirlenmiştir [27]. Çalışma kapsamında veri kaydediciler, tüm gün açık bulunan camilerde insan teması ve hasar gibi risklere karşı 2,20 m yüksekliğe asılmıştır. Standartta belirtilen 1,10 m yüksekliğinin aşılması üzerine oluşabilecek hata payı göz önünde alınarak, haftada bir 2,20 m kotuna asılan cihaz hizalarında 1,10 m yüksekliğinden kısa süreli ölçümler alınmıştır. Ölçüm süreleri boyunca farklı kotlara asılmış cihazlardaki değerler toplanmış ve aynı ölçüm vaktine denk gelen iklim verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırmalı verilere göre ölçümler arası hata payı hesaplanmış, mevcut hata payına göre tüm 2,20m verileri düzenlenmiştir. Bulgular bölümünde sunulan tüm veri ve analizler 1, 10 m seviyesine göre düzeltilmiş değerler baz alınarak hazırlanmıştır.

Diğer yandan, veri kaydedici cihazların yerleşimine, kafeterya ve cami olmak üzere iki farklı fonksiyon barındıran Tiryakizade Süleyman Ağa Cami binasının kullanıcı niteliği ve kullanım süresi ve yoğunluğundaki çeşitlilikler göz önüne alınarak karar verilmiştir. İzleme süreci için camiye yerleştirilen 12 adet TESTO 174 H Sıcaklık ve Nem Veri Kaydedici (C) ve 5 adet HOBO UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedici (H) için adet ve konumlar Tablo 3 ve Şekil 3'te görülmektedir. Aynı yapı malzemesi ile oluşan farklı katlardaki fonksiyonların dış ortam sıcaklığına karşı davranışını da araştırarak biçimde yerleştirilen bu veri kaydediciler için izleme süreci tüm mekanlar için senkronize olarak yürütülmüş olup, bulgular kısmında aktarılan veriler aynı yöntem çerçevesinde ele alınmış ve yorumlanmıştır.

2.3. İzleme Sürecinde Veri Toplama Periyotları (Data Collection Periods in the Monitoring Process)

Verilerin değerlendirilmesi için bütüncül cami hacimleri alt zonlara ayrılmıştır. Değerlendirme amacıyla ibadet alanları için 7 ayrı zon oluşturulmuş ve bölümlendirilen alanlar içerisindeki iklim davranışları birbirleri ve standartlarda yer alan konfor ölçekleri ile değerlendirilmiştir. Kafeterya bölümü, son cemaat bölümü ve kadınlar mahfili tek mekân olarak kabul edilerek, mekan içerisinde asılan tüm cihaz verilerinin ortalaması ile tek değere dönüştürülmüştür (Z1 ve Z6). Büyük bir hacme sahip harim bölümü ise kubbe eksenine göre bölünerek kendi içerisinde dört ayrı zona

dönüştürülmüş, harim içerisindeki ayrı ısı davranışlar incelenmiştir. Ayrık nizam oturma sahip olan caminin dört farklı yönü baz alınarak tanımlanan zonlar ve bu zonlardaki veri kaydediciler Şekil 4'te sunulmuştur. Dört ayrı bölgeye ayrılan harim bölümünde Z2-4 olarak belirtilen alan dışındaki her bölümde farklı cephelerden ölçüm alan iki adet TESTO 174H kayıt cihazı (C) bulunmaktadır. Harim mekânı içerisinde bulunan 7 cihaz, ortalamaları alınarak 4'e düşürülmüş (Z2-1, Z2-2, Z2-3, Z2-4) ve harim bölümünde oluşturulan her bir zonu temsil eden bir ölçüm elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Harim bölümünden elde edilen zonlar ve zonlara dahil olan kayıt cihazları (Zones obtained from the Harim place and the recording devices included in the zones)

Kısa dönem/tekrarlı periyotlarda ilerletilen yapı izleme planı, Mart, Nisan, Mayıs ve Ağustos aylarında Tablo 4'te belirtilmiş ölçüm sürelerine yürütülmüştür. Yapı içerisinde aktif soğutma sistemi bulunmaması ve yaz aylarında pencere, kapı açıklıkları kullanıcı kontrolüne bağlı çalıştırılmaktadır. Yapı içerisindeki ısıtma sistemine dair yorumlar, Mart ve Nisan aylarından elde edilen 10'ar dakikalık ritimlerle toplanmış veriler üzerinden yapılacak, Mayıs ve Ağustos iklim verileri yapının serbest dönemine ait analizler sağlayacaktır. Kısa süreli ölçüm (short-term monitoring) yönteminde, ölçüm süresinden ziyade verilerin alındığı zamanın daha önemli olduğu ve verilerin toplanmasında en iyi dönemin serbest dönemler olduğuna dair tespitler literatürde yer almaktadır. Serbest dönem (swing

Tablo 4. Yapı izleme periyodları (Periods of building monitoring)

Periyodlar	Başlama Tarihi	Bitiş Tarihi	Ölçüm Süresi	Bina Sistem Durumu
1	25 Şubat 2022	30 Mart 2022	34 Gün	Isıtma
2	1 Nisan 2022	30 Nisan 2022	30 Gün	Isıtma
3	6 Mayıs 2022	22 Mayıs 2022	17 Gün	Serbest Dönem
4	8 Ağustos 2022	8 Eylül 2022	30 Gün	Serbest Dönem

season), yapı içerisinde ısıtma ya da soğutma sisteminin çalışmadığı dönemleri kapsamakta ve yapı kabuğu davranışına ait en doğru izlenimleri yansıtmaktadır. Mart ve Ekim ayı olarak belirtilen serbest dönemlerin veri izlenmesi ile binanın bir yıl boyunca kabul edilebilir bir tahmininin sağlanacağı beklenmektedir [28]. Çalışma içerisindeki ölçüm takvimine, Abushakra ve Paulus'un belirttiği serbest dönem disiplini dahil edilmiştir. 3. bölge derece gün illeri içerisinde olan Eskişehir ili [29] hava şartları dolayısıyla Abushakra ve Paulus'un belirttiği serbest dönemler çalışma içerisinde revize edilmiştir. Yapı içerisinde ısıtma ve soğutma sisteminin çalışmadığı aylar gözlemlenerek araştırma içerisinde Mayıs ve Ağustos ayları serbest dönem olarak belirlenmiş ve yerinde ölçümler devam ettirilmiştir (Tablo 4).

2.4. Değerlendirme Sürecinde Kullanılan Standartlar (Standards Used in the Evaluation Process)

Değişen ve gelişen teknoloji ile her dönem güncelliğini koruyan ısı konfor ve iç hava kalitesi alanında yapılan çalışmalar, bir mekân kullanıcıları için konforlu hale getirmeyi, uygun iç hava kalitesinin sağlanmasını, kullanıcı sağlığını, verimliliğini ve üretkenliğini kabul edilebilir düzeylere taşımaya amaçlamaktadır [30]. Yapının optimum konfor koşullarını sağlamasında etkin parametrelerden olan ısı konfor [31], kişilerin ısı çevre ile ilgili memnuniyeti olarak tanımlanmaktadır. Kestirimi karmaşık ve subjektif değerlendirmelere dayalı olsa da [32] ısı konforunu hesaplamasında kabul edilebilir aralıklar ulusal ve uluslararası standartlarca belirlenmiş olup konfor koşulları sıcaklık (°C), bağıl nem (%), hava hızı (m/s) gibi değişkenlere göre değerlendirilmektedir. Mevcut çalışma içerisinde ele alınan yapı ve yapıya ait iklim verileri ASHRAE Standart 55, EN ISO 7730'a göre değerlendirilecektir. ASHRAE 55 Standardında [27], ortamın kullanıcılar için ısı olarak yeterli düzeyde konforlu hale getirilmesinde belirli çevresel ve kişisel faktörler ele alınmaktadır. Çevresel faktörler sıcaklık, ısıtım, nem ve hava hızı; kişisel faktörler aktivite, metabolik hız ve giyimdir. ASHRAE 55 Standardında tipik uygulamalar için basitleştirilmiş grafik metodu [27], daha geniş uygulamalar için ise ısı denge metoduna bağlı olarak bilgisayar programları bulunmaktadır [30]. "Thermal environmental conditions for human occupancy" başlıklı standart, yapı kabuğunda bulunan açıklıkların, pencerelerin kullanıcı kontrollü olduğu, doğal şartlandırılmış mahaller göz önüne alınarak hazırlanmış ve dış iklime bağlı değişimleri olağan kılmış, değerlendirme metodolojileri sağlamıştır [27]. Isıl konfor değerlendirmesi içeren diğer standart EN ISO 7730 [33], ortamda bulunan kişilerin bireysel ve kolektif olarak ısı algısını ifade eden ve Fanger [34] tarafından ortaya koyulan PMV (kişisel ortalama oy) ve PPD (ön görülen memnuniyetsizlik yüzdesi) hesap yöntemlerini kabul etmektedir. Mevcut standartta yer alan, hafif ve genellikle oturma eylemi ile yapılan aktiviteler için gerekli ortam şartları ısıtma ve soğutma dönemleri için ayrı planlanmıştır. ASHRAE Standart 55'te önerilen grafik metodunun uygulanabilirliğinde metabolik oran ve kullanıcıların giysi yalıtımı aralıkları Tablo 5'teki gibi belirtilmiştir [27]. Gerekli şartlara (Tablo 5) uyum sonucu paylaşılan grafik metoduna göre [27], 0,5clo ile belirtilen yaz dönemi (soğutma) için 23,5°C-28,0°C, 1,0clo ile belirtilen kış dönemi (ısıtma) için ise 19,0°C-26,5°C ısı konfor aralıkları verilmektedir. ISO 7730'da yaz döneminde (soğutma) operatif sıcaklık 24,5°C ± 1,5°C, kış döneminde (ısıtma) 19,0°C-26,0°C aralığı kabul edilir düzeylerdir. Yaz ve kış ayları için kabul edilir bağıl nem %30 - %70 aralığında önerilmektedir [33].

Tablo 5. ASHRAE 55 kılavuzunda yer alan grafik metodu uygulanabilirliği için gerekli aralıklar

(Required ranges for graphical method applicability in ASHRAE 55 manual)

Metabolik oran	1,0 < M < 1,3
Kıyafet yalıtımı	0,5 < I _{cl} < 1,0

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussion)

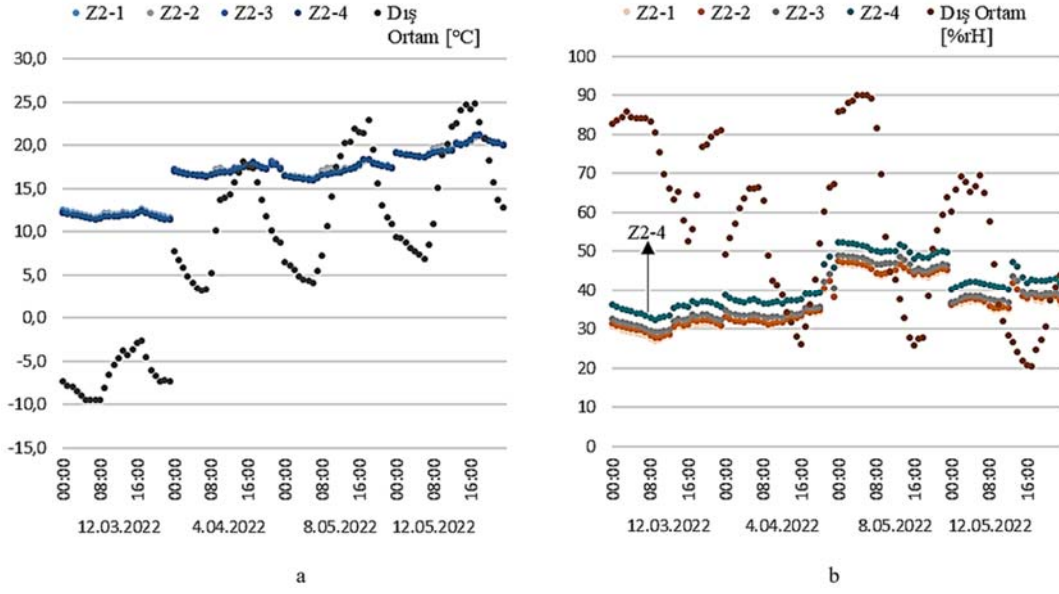
Tiryakızade Süleyman Ağa Caminin performans belirlenmesi ve enerji etkin iyileştirilmelerin önerilmesine dair yürütülen çalışmanın ilk adımı olarak uygulanan izleme sürecinden elde edilen verilerin binanın iklim etkisi, ısıtma rejimi ve kullanıcı varlığı/yokluğu gibi durumlar altında nasıl davranış gösterdiğine ilişkin analizler bu bölümde aktarılmaktadır.

3.1. Sıcaklık ve Bağıl Nem Profillerinin İrdelenmesi (Examination of Temperature and Relative Humidity Profiles)

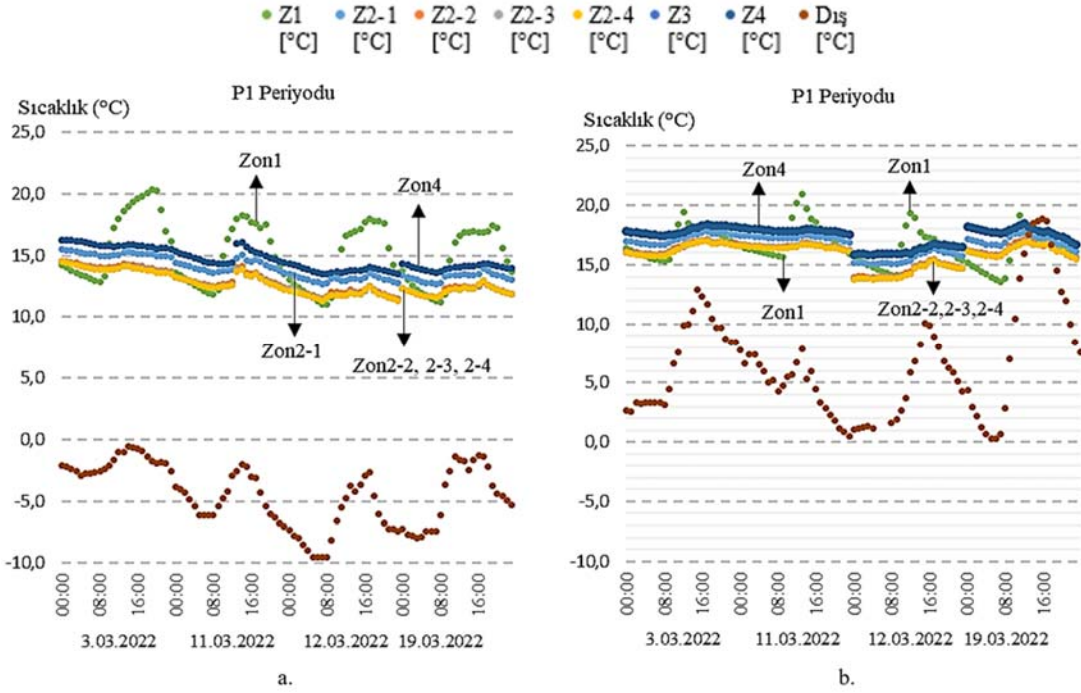
Ölçümler sonucu elde edilen veriler kademeli olarak aktarılmıştır. İlk olarak, yapı içerisinde ayrıştırılan zonlara ait veriler P1, P2, P3 ve P4 periyotlarına ait olarak irdelenmiş ve zonlar arasındaki ısı davranış farkları değerlendirilmiştir. Kafeterya bölümü (Z1), harim bölümü (Z2-1,Z2-2,Z2-3,Z2-4), son cemaat bölümü (Z3) ve kadınlar mahfili bölümü (Z4) ile birlikte değerlendirmeye giren toplamda 7 zon bulunmaktadır. Harim bölümünde oluşturulan Şekil 4'te belirtildiği gibi dört alana ayrılan harim bölümündeki farklı zonların iklim davranışları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı cephelerde yer alan ve benzer metrekaRELERE sahip alanların sıcaklık ve bağıl nem verileri analiz edilerek yapı kabuğunun iklim etkisi altında ısı davranışı irdelenmiştir (Şekil 5). Saatlik verilere göre yapılan değerlendirmede, Mart-Nisan-Mayıs aylarından 4'er gün belirlenmiş ve tüm sezonlardaki davranışlar eş değer olarak ele alınmıştır.

Şekil 5'te aynı mekân içerisindeki 4 zona ait farklı aylardan alınmış veriler gösterilmektedir. Sıcaklık grafiğinde, harim bölümünde yer alan farklı konumları temsil eden verilerin birbirleri ile hemen hemen aynı davranışlar sergilediği görülmektedir. Dış ortamdaki sıcaklık değişimlerine benzer tepkiler vermişlerdir. Böylelikle tek mekân içerisinde yapılan incelemede sıcaklık özelinde homojen yapı doğrulanmıştır. Nem grafiği incelemesinde Z2-1 ve Z2-2'nin aynı dalgalanmalara sahip olduğu Z2-3'ün ise onlara benzer olsa da çok az farkla daha yüksek nem değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Z2-4 alanında ölçülen nem değerlerinin diğer üç mekâna göre daha yüksek olmakla birlikte harim mekânı içerisinde en yüksek nem oranı görülen alan olduğu tespit edilmiştir.

Harim bölümünde sıcaklık ve bağıl nem dağılımlarının saatlik çözünürlükte benzerlik gösterdiği saptanmıştır ve bu bulgu sonucunda diğer zonların değerleri de Tablo 4'te belirlenen periyotlar kapsamında tamamlanmıştır. Kafeterya bölümü (Z1), son cemaat bölümü (Z3) ve kadınlar mahfiline ait bölümünde (Z4) dahil edilmesi ile birlikte tüm sezon periyotlarında iç mekan ısı koşulları incelenmiş ve yapı bölümlerinin farklı hava şartlarına karşı iklim hareketleri karşılaştırılmıştır. Yapı içi iklim hareketleri, ölçüm süreci boyunca periyotlar özelinde tespit edilmiş en yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamalarına sahip günlerde saatlik değerlendirmelere alınmıştır (Şekil 6-Şekil 7).



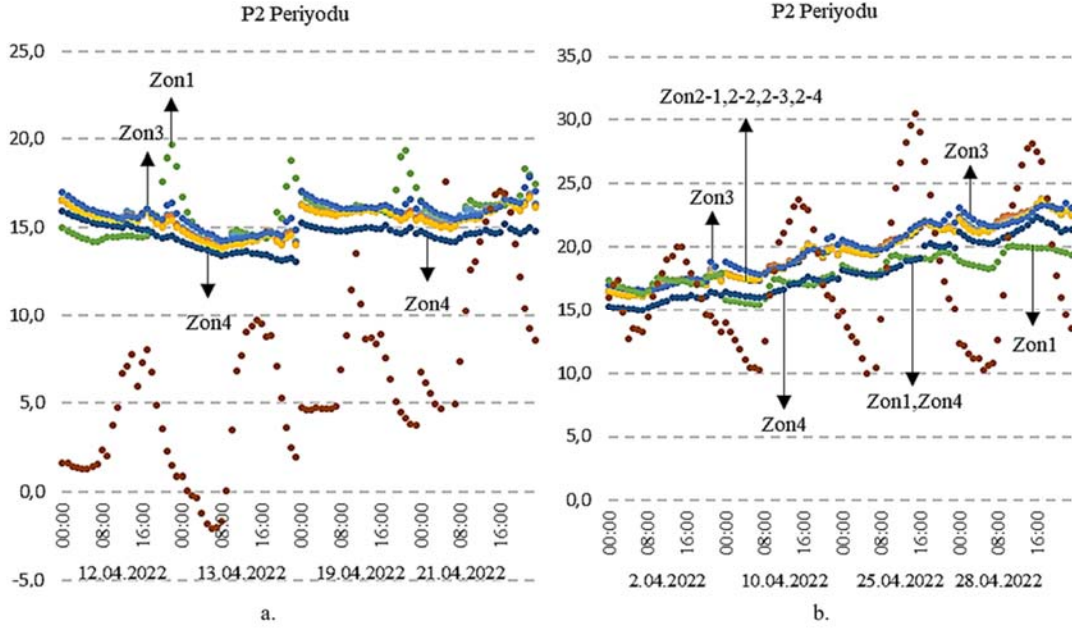
Şekil 5. Harim bölümünde yer alan zonların Mart-Mayıs sürecindeki ısıl davranışları, (a) sıcaklık, (b) nem
(The thermal behaviors of the zones in the Harim section during the March-May, (a) temperature, (b) humidity)



Şekil 6. P1 periyoduna göre en düşük (a) ve en yüksek (b) dış ortam sıcaklıklarına sahip günlerde yapı davranışları
(Building behavior on days with the lowest (a) and highest (b) outdoor temperatures according to P1 period)

P1 periyodu, 25 Şubat-30 Mart aralığı ısıtma dönemidir ve bu dönem içerisinde tespit edilen en yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamalarına ait 4'er günlük değerlendirmeler sunulmuştur (Şekil 6). 10 dakikalık aralıklarla ölçülen sıcaklık değerlerinden elde edilen ortalamalardaki kafeterya verilerinin (Zon1) dış ortama paralel davranışları saptanmıştır. Zon1 olarak adlandırılan mahale ait sıcaklıklardaki ani dalgalanmaların kafeteryanın sıklıkla açılan giriş kapısı kaynaklı olduğu yorumlanmıştır. Mevcut dalgalanmalar, P1 periyodu süresince ele alınmış tüm günlerde geçerli bulunmuştur. Dış ortam sıcaklığının en düşük $-10,0^{\circ}\text{C}$, en yüksek $18,0^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleştiği P1 periyodunda iç ortam sıcaklık değerleri $11,0^{\circ}\text{C}$ - 950

$19,0^{\circ}\text{C}$ aralığında değişim göstermiştir. Benzer tavırlar sergileyen cami mekanları içerisinde kadınlar mahfili diğer ibadet alanlarına göre ortalama $1,0^{\circ}\text{C}$ - $2,0^{\circ}\text{C}$ daha yüksek sıcaklık profillerine sahiptir. Cami içerisinde üst kotta bulunan kadın mahfilinin sıcaklık profillerinin erkek cemaatin ibadet ettiği bölüme oranla daha yüksek gerçekleşmiş olması bölüntüsüz hacimler arasında ısınan havanın artan sıcaklığa bağlı olarak moleküler hareketinin artması, dolayısıyla yoğunluğunun azalması [35] ile açıklanabilmektedir. Şekil 6'da sunulmuş P1 periyodunda saptanmış en yüksek sıcaklıklarda cami içi mahallerindeki ani sıcaklık artışı ve düşüşleri tüm alanlarda ortak tavır olarak tespit edilmiş ve periyod özelinde ele alınmış tüm süreçte cami



Şekil 7. P2 periyodlarına göre en düşük (a) ve en yüksek (b) dış ortam sıcaklıklarına sahip günlerde yapı davranışları (Building behavior on days with the lowest (a) and highest (b) outdoor temperatures according to P2 period)

mahallerinde lineer davranışlar tespit edilmiştir. Sıcaklık değerleri arasında fark olmasına rağmen 6 Mart, 28 Mart tarihlerindeki dış sıcaklıkta gerçekleşen 10,0°C-12,0°C düşüşe yapı içerisindeki mekanların benzer trendle ve yaklaşık 3°C sıcaklık düşüşü ile karşılık verdiği görülmüştür. Bu durum ısıl gecikmenin binada çok hızlı gerçekleşmediği sonucuna varılmasına da özellikle yapının sızdırmazlığının irdelenmesi gerektiğini işaret etmektedir.

Nisan ayını kapsayan P2 kodlu ölçüm sürecinin ilk haftalarında ısıtma sistemi çalışmaya devam etmiştir. En düşük -3,0°C, en yüksek 17,0°C'nin görüldüğü süreçte dış hava şartlarına göre cami görevlileri tarafından ısıtma sistemi manuel olarak devreye alınmış ya da devreden çıkarılmıştır. P2 periyoduna denk gelen Ramazan ayı süresince kafeterya hizmet vermemiştir. P1 ve P2 periyodu arasında hizmet verilmemesi ve ısıtma sisteminin çalışmaması nedeniyle dış ortam sıcaklığına bağlı olarak 6,0°C-9,0°C'lik mekan içi sıcaklık farkları tespit edilmiştir. Isıtmanın gerçekleşmediği ve mekanın kullanılmadığı bu süreç özellikle sonraki süreçte yürütülecek simülasyon çalışmasında model kalibrasyonunun sağlanması ve U-değerleri, sızdırmazlık gibi parametrelerin gerçekçi modellenebilmesi bakımından önemli bir veri halini almıştır. Mevcut süreç içerisinde erkek ibadet alanlarının sıcaklık değerleri diğer mekanlara göre daha yüksek sıcaklıklar göstermiş ve ay boyu devam etmiştir. Mart ayı verilerinin (P1) tam tersi söz konusu olan P2 periyodunda en düşük değerler kadınlar mahfilinde tespit edilmiştir (Şekil 7).

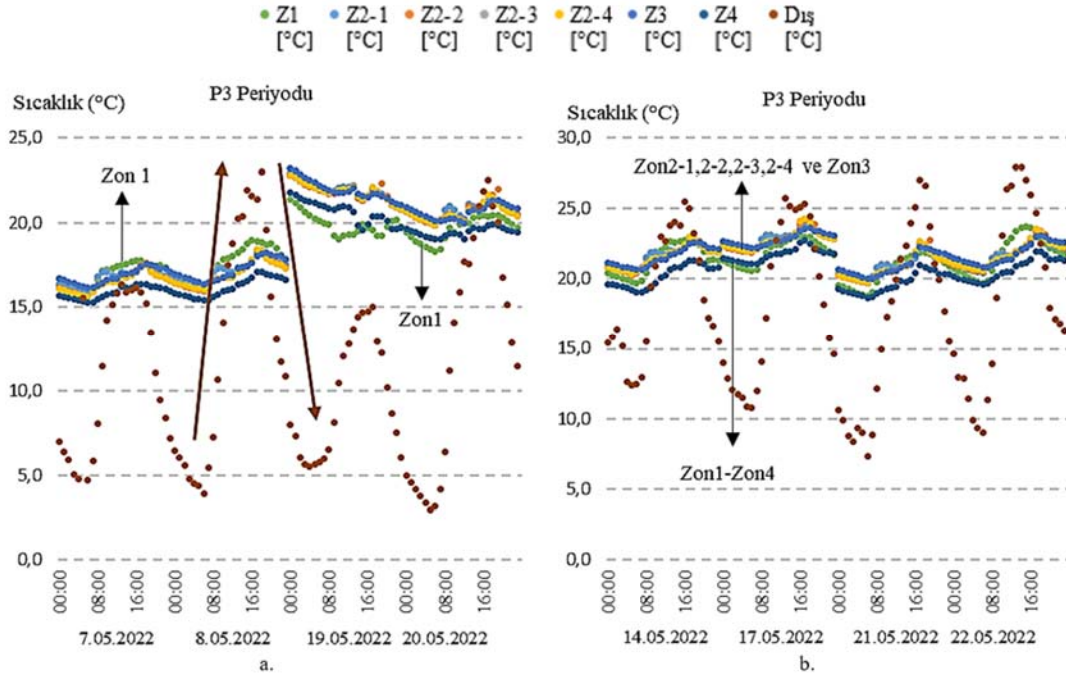
Mayıs ayını kapsayan P3 periyodunda yapı içerisinde ısıtma ya da soğutma sistemleri kullanılmamıştır ve bu dönemde yürütülen izleme çalışmasına ait veriler çalışmanın serbest sezonuna aittir. Dış ortam sıcaklığı 3,0°C ila 27,0°C arasında dalgalanmıştır. P3 periyodu, dış ortam sıcaklığında gün içerisinde en fazla sıcaklık farkı saptanan dönem olmuştur. Yapı içerisinde ısıtma ve soğutmanın çalışmadığı, serbest dönem olarak ele alınan Mayıs ayında tüm mahallerin benzer aralıklarda, benzer davranışlar sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 8). Yapı içerisinde, iç ortam sıcaklıklarını en yüksek mekanlar P2'de olduğu gibi harim bölümü (Z2) ve son cemaat bölümüdür (Z3). Mekanlardan alınan değerler arası fark çok yüksek olmamakla birlikte

en düşük sıcaklık seviyesi yine P2 periyodunda olduğu gibi kadınlar mahfiline (Z4) aittir. Ele alınan periyodlara bakıldığında ısıtma sisteminin aktif olduğu dönemlerde kadınlar mahfilinin en yüksek iç sıcaklık profillerine sahip olduğu, ancak ısıtmanın aktif olmadığı dönemlerde bu durumun tersine döndüğü gözlenmiştir. Benzer bir sonuç olarak, harim bölümünün ısıtma döneminde yapı içerisindeki en düşük sıcaklık profillerine (P1) sahip olduğu saptanmış, ancak ısıtma sisteminin aktif olmadığı zamanlarda (P3-P4) bu eğilim tersine dönmüş ve harim bölümü yapıda en yüksek iç mekân sıcaklık profillerine sahip mahal olmuştur. Bu durum cami yapısının farklı kotları için farklı sızdırmazlık değerlerinin varlığına işaret etmekte ve detaylı izleme çalışmalarında sızdırmazlık ölçümlerinin de yürütülmesi gerektiğini düşündürmektedir. Diğer bir serbest sezon olan P4 periyodu, Ağustos ayını kapsamaktadır. Aynı gün içerisinde, dış sıcaklık bandındaki 15,0°C-18,0°C sıcaklık farklarının iç mekana etkisi belirgin olmamakla birlikte tüm mahallerde benzer değerler göstermiştir. İç mekandaki sıcaklık değerleri tüm mekanlarda 26,0°C-30,0°C aralığındadır. Ağustos ayı verileri gözetilen periyod, incelemeler içerisinde tüm mahallerde tespit edilmiş en yüksek iç ortam sıcaklıklarına sahiptir (Şekil 9).

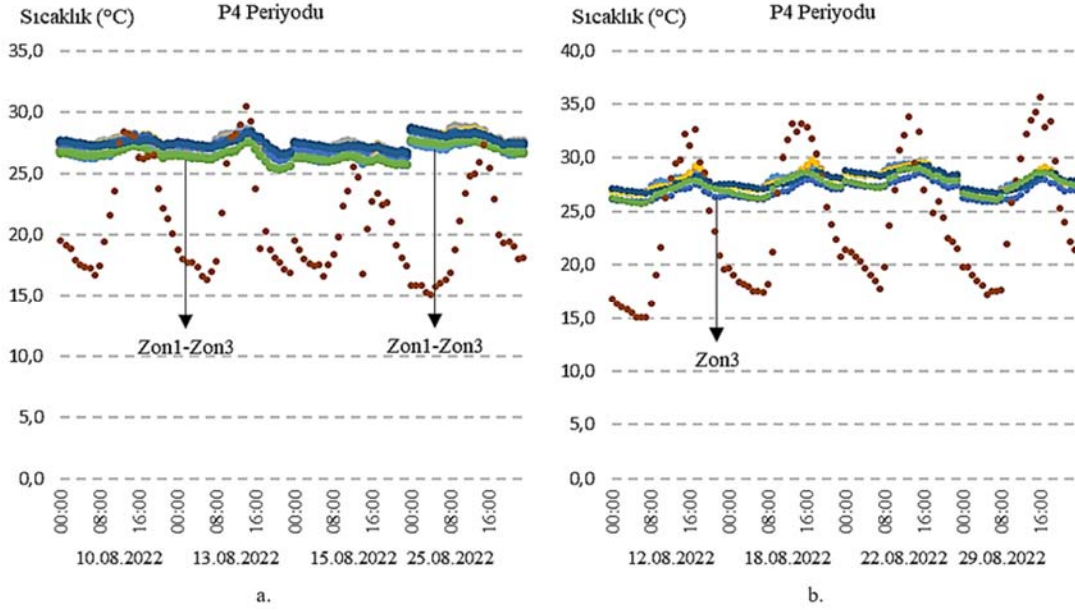
3.2. Isıtma, Isıl Kütle Nitelikleri ve İç Sıcaklık Profillerinin İrdelenmesi (Examination of Heating, Thermal Mass Properties and Internal Temperature Profiles)

İzleme çalışmasının yürütüldüğü örneklem yapı çok fonksiyonlu bir yapıdır ve bu nedenle kullanıcı varlığı ve yoğunluğu zemin kat ve üst katlar için farklılık göstermektedir. Yapı iç ortam değerlerinin ölçüldüğü tüm hacimlerde kullanıcı varlık/yokluk verisi kaydedilmiş olup aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. Her mekân için elde edilen kullanıcı varlığı verisi bir mekânın saatlik doluluk oranını belirtmektedir. Mekânda ölçülen iç ortam parametreleri kullanıcı varlığı ve dış ortam sıcaklıkları bağlamında değerlendirilmiş ve bu veriler ölçüm periyodlarındaki 5 farklı gün üzerinden aktarılmıştır.

Şekil 10 kafeteryaya yerleştirilmiş olan HOBO UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma cihazlarından (Şekil 3) elde edilen verileri sunmaktadır. Kafeteryanın kuzey ve güney yönlü iç duvar yüzeylerine yerleştirilmiş bu cihazlardan elde edilen sonuçlar kafeteryanın 12:00-



Şekil 8. P3 periyoduna göre en düşük (a) ve en yüksek (b) dış ortam sıcaklıklarına sahip günlerde yapı davranışları (Building behavior on days with the lowest (a) and highest (b) outdoor temperatures according to P3 period)



Şekil 9. P4 periyodlarına göre en düşük (a) ve en yüksek (b) dış ortam sıcaklıklarına sahip günlerde yapı davranışları (Building behavior on days with the lowest (a) and highest (b) outdoor temperatures according to P4 period)

18:00 aralığında kullanım yoğunluğu olduğunu ortaya koymaktadır. Nisan ayı verileri ise aynı hacmin saat 19:00 sonrası kullanım yoğunluğunun gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu 2 Nisan-1 Mayıs 2022 tarihleri arasında gerçekleşen Ramazan ayı süresince kafeteryada kullanımın akşam saatlerinde artış gösterdiğini işaret etmektedir. Şekil 10'a göre dış sıcaklığın yüksek olduğu günlerde kafeterya iç sıcaklığı 15°C-25°C aralığında, dış sıcaklığın düşük olduğu tarihlerde iç sıcaklık 10,0°C-15,0°C aralığında ölçülmüştür. 10 ve 25 Nisan tarihleri (Ramazan ayına ait günler) için kullanıcı varlığının saat 19:00 ve sonrası için saptandığı görülmektedir. Gün içerisindeki dış ortam sıcaklığındaki artışların yapı iç sıcaklığına

etkisinin minimum düzeylerde olduğu saptanmıştır. Nisan ayı (P2) süresince yapı içerisindeki ısıtma sisteminin sürekli çalışmadığı ve manuel olarak işletildiği bilinmemektedir. Ancak ısıtmanın devreye alındığı zaman ve devrede kaldığı süre bilinmemektedir. İç mekandan toplanan verilerin ısıtma sisteminin işletimine dair bilgi içereceği düşüncesi ile saatlik iç-dış sıcaklık (°C) ve kullanıcı varlığı ilişkisi analizleri sonucunda Şekil 10'da örneği görüldüğü gibi ısıtmanın manuel olarak devreye alındığı günler saptanmıştır. Örneğin 10-25 Nisan tarihlerinde 15,0°C-20,0°C bandında gerçekleşen dış sıcaklığın iç mekan değerlerini etkilemediği ve ısıtmanın aktif olmadığı gözlenmiş, ancak aynı günler içerisinde kullanıcı varlığının görüldüğü

saat 19:00 sonrası mekanda ısıtma sisteminin çalışmasına bağlı olarak iç ortam ısısının yükseldiği gözlenmiştir (Şekil 10). Gün boyunca kapalı bulunan mekandaki iç sıcaklığın, dış ortam sıcaklığında gerçekleşen dalgalanmalardan etkilenmemesi zemin kat yapı kabuğunun U-değerlerinin düşük olabileceği, ısı kütlenin yüksek olabileceği ya da sızdırmazlık değerlerinin düşük olabileceği yönünde değerlendirilmiştir.

Mart ayı içerisinde, TESTO 435-2 radyo frekans dış sıcaklık ölçüm probu, thermocouple duvar iç yüzey sıcaklık probu ve iç ortam sıcaklık probu kullanılarak yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları tespitine yönelik ısı akısı ölçüm çalışmaları yürütülmüştür. İnvazif olmayan bu ölçüm yönteminde U değerinin hesaplanabilmesi için dış sıcaklık, iç ortam sıcaklığı ve duvar iç yüzey sıcaklığı ölçülmekte [29], ölçümün doğrulukla gerçekleştirilebilmesi için dış ve iç ortam sıcaklık farkının en az 15°C olması gerekmektedir. Tablo 6'da görüldüğü gibi bazı ölçümlerde 15°C fark koşul sağlanamamıştır. Uygulanan U değeri tespit yöntemi, şartların sağlanamaması ve ölçüm sayısının artırılması gerekçesi ile ilerleyen ısıtma döneminde tekrarlanacak, oluşturulacak simülasyon modeli için detaylandırılacaktır. Ancak, kesin doğrulukla olmasa da Tablo 6'da görüldüğü gibi, taş duvar U-değerlerinde gerçekleştirilen M01, M02, M05 ve M07 ölçümlerinde sırasıyla 0,483, 0,607, 0,504 ve 0,553 W/m²K değerleri elde edilmiştir. Bu değerler birbirine yakın olup taş duvar ısı geçirgenlik katsayısının ortalama 0,538 W/m²K'lik bir değere sahip olduğunu göstermektedir. Belirtilen değerlere, TESTO 435-2 ile sağlanmış yapı ölçümleri ile ulaşılmıştır. Yapı malzemesi ısı geçirgenlik katsayısı güvenilirliği için aynı duvar kurgusu proje verileri doğrultusunda TS 825 Standartında belirtilen değerlere göre hesaplanmış, ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır (Tablo 6). Benzer bulgular Francis vd. [37] ve Baker [38] tarafından da saptanmıştır. Francis vd. [37] bir dış duvarda yapılan ısı akısı ölçümleri ortalama U değerini 1,30 W/m²K olarak saptamış ve aynı duvar kurgusu için CIBSE Kılavuz A'ya göre hesaplamaların yapılması sonucunda değerin 2,10 W/m²K olduğunu belirlemiştir. Bu farkın masif duvar konstrüksiyonundaki çeşitliliklerden, malzeme yoğunluğunun homojen olmamasından, konvektif etkiler ve nem geçişi gibi ısı elemanların özelliklerindeki olası değişimlerden ve malzeme içerisindeki gözenek konfigürasyonlarına bağlı hava

boşluklarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Biddulph vd. [39] yüzey sıcaklığı, iç ve dış sıcaklığın 14 gün süreyle yerinde ölçümü sonucunda elde edilen ortalama U değerinin hesaplama yöntemi ile elde edilen U değerinden düşük olduğunu saptamıştır. Diğer yandan, Desogus, Mura ve Ricciu [40] ısı akısı yöntemiyle ölçülen U değerleri ile hesaplanan U değerleri arasındaki hata payının bir kısmının yüzey sıcaklığını ölçmek için thermocouple probunun duvara bağlanmasına aracılık eden yapıştırıcı elemanlardan kaynaklandığını ve değerlerin bu nedenle hesaplanandan daha az olduğunu ileri sürmüştür, ısı akısı ölçüm yönteminde kullanılan cihazların iç ve dış sıcaklık farkı, rüzgar, ışınım gibi çevresel koşullardan büyük ölçüde etkilendiğini belirtmiş, uygun koşullar sağlandığında kesit kompozisyonunu tümüyle saptamaya yönelik invazif yöntemlerin kullanımını önermiştir. Bu çalışma kapsamında da ölçülen U değerlerinin hesaplanan U-değerlerinden farklılaştığı görülmektedir (Tablo 6). Ancak çalışmaya konu olan yapı, kültürel miras eseri olduğu için U-değeri ölçümleri invazif olmayan ısı akısı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, çalışmanın ilerleyen safhalarında ölçülen, hesaplanan ve her ikili değerlerin ortalaması olan U değeri simülasyona entegre edilerek en iyi kalibrasyon düzeyinin hangisini sağladığı test edilecektir.

Değerlendirmelerin netleştirilebilmesi amacıyla serbest sezon verileri irdelenmiştir. Mayıs ayı (P3) ölçüm periyoduna ait veriler 15-22 Mayıs arasında kafeterya iç sıcaklığının 20,0°C-25,0°C bandında olduğunu ortaya koymuştur. Aynı tarihlerde dış sıcaklık sabah saatlerinde 9,0°C-10,0°C, öğle saatlerinde 20,0°C üzerinde değerler göstermekte olup aynı durum iç mekanda da gözlenerek öğle saatlerine doğru iç sıcaklıkta artış gözlenmiştir. Belgelenen artış, mekandaki kullanıcı varlığına ve kullanıcı aktivitelerine, gün boyu açık olan kafeterya kapısına (dış ortam sıcaklığı ile temas), kullanıcı kontrollü pencere açma-kapama durumlarına, kafeterya mutfağının ve pişirme/ısıtma elemanlarının çalışmasına bağlı yorumlanmıştır. Aynı zamanda, Mayıs ayı ölçümleri 70 cm kalınlığındaki taş duvar kurgusunun ısı tutma kapasitesinin iç ısı ortam koşulları üzerinde belirleyici bir etki göstermeye başladığını işaret etmektedir. Mayıs ayında ölçülen iç sıcaklık profilleri kış aylarında ölçülenlere kıyasla daha az genlik ile dalgalanmaktadır (Şekil 6- Şekil 9). Bu durum taş duvarlardan gerçekleşen ısı transferi sırasında, dış ısı dalgasının genliğindeki artış, güneş ışınımındaki artış ve yapı kabuğunun dış

Tablo 6. Yapı kabuğuna ait TESTO 435-2 U-Değer ölçümleri, TS 825 U-Değeri hesaplamaları ve ortalama değer [29, 36-37] (TESTO 435-2 U-value measurements of the building envelope, TS 825 U-Value calculations and average value)

Ölçülen U Değerleri	Duvar Tipi	Yapı Kabuğu Elemanı	Mekan	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Nokta Adedi	Max.	Min.	Ortalama	Std. Dev.	Kabul Edilen U Değeri
	Ölçülen U Değerleri	Taş Duvar	M01	Harim	31.03.22	3609	1.639	0,004	0,556	0,209
		M02	Harim	15.03.22	3530	0,707	0,01	0,588	0,096	0,607
		M03	Harim	13.03.22	3928	Ti – Td > 15°C sağlanamadı				
		M04	Harim	01.04.22	3595	Ti – Td > 15°C sağlanamadı				
		M06	Kafe	15.03.22	3231	1.785	1.311	1,646	0,091	1,728
		M07	Minare	15.03.22	3530	0,484	2.119	0,658	0,221	0,553
Hesaplanan U Değerleri		Malzeme	Kalınlık (m)	Birim Hacim	Kütlesi	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ ^{h3} (W/mK)	Isıl İletkenlik Direnci R (m ² K/W)	RToplam	Isıl Geçirgenlik Katsayısı U (W/m ² .K)	
	Hesaplanan U Değerleri	Taş Duvar	0,70	1	1000 kg/m ³	0,50	1,40	1,57	0,64	
				2	1200 kg/m ³	0,56	1,25	1,42	0,70	
				3	1400 kg/m ³	0,70	1,00	1,17	0,85	
				4	1600 kg/m ³	0,79	0,89	1,06	0,95	
				5	1800 kg/m ³	0,99	0,71	0,88	1,14	
				6	2000 kg/m ³	1,10	0,64	0,81	1,24	
			7	2200 kg/m ³	1,30	0,54	0,71	1,41		
Sonuç	Taş Duvar	Ölçülen U değeri		Hesaplanan U değeri			Ortalama U Değeri			
		((0,483+0,607+0,553)/3)		((0,64+0,70+0,85+0,95+1,14+1,24+1,41)/7)			0,990	((0,548 + 0,990)/2)		
		0,548								

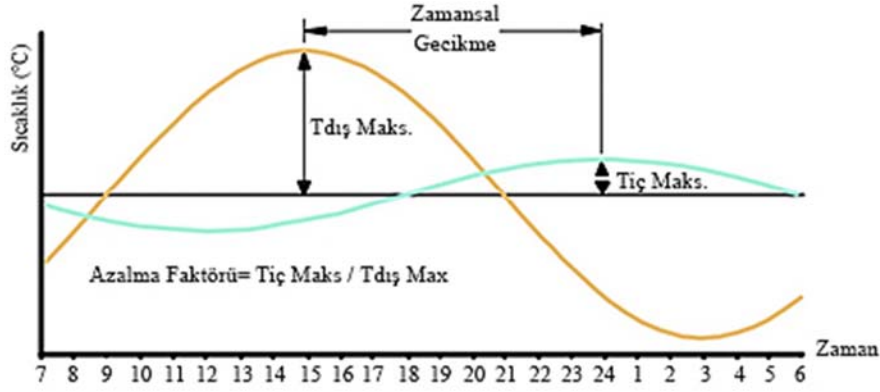
yüzeyi ile atmosferik hava arasındaki konveksiyondaki değişime bağlı olarak taş malzemenin ısıl kütlesi aracılığıyla azalma faktöründeki (*decrement factor*) düşüş ve ısı dalgasının duvardan geçmesi için geçen süredeki, yani gecikme süresindeki (*time lag*) artış ile açıklanabilmektedir (Şekil 10; [41-42-43]). Diğer bir deyişle, Mayıs ayı boyunca güneş ışımına ve artan dış sıcaklığa bağlı olarak ısıl kazançların artması sonucunda taş duvar ısıl kütlesi iç ortamı pasif olarak iklimlendirme davranışı göstermeye başlamıştır.

Isıl kütlenin etkisini anlamak bakımından Şekil 11’de sunulan diğer tarihler de incelenmiş, ısıtma sezonunda (P1-P2) yer alan, Şubat-Mart aylarına ait günlerde dış sıcaklığa bağlı iç sıcaklıktaki dalgalanmalar dikkat çekmiştir. 27 Şubat tarihinde dış sıcaklıktaki 10,0°C artışın iç mekana 5,0°C olarak yansımış, 25 Nisan tarihindeki dış ortam sıcaklığındaki 20,0°C artışın iç mekana yansımaları saptanmamıştır. İç mekan sıcaklığının tamamen dış sıcaklığa bağlı dalgalanmadığı görülmekte olup yapının ısıl kütlesinin etkin bir parametre olduğunu söylemek olası hale gelmektedir.

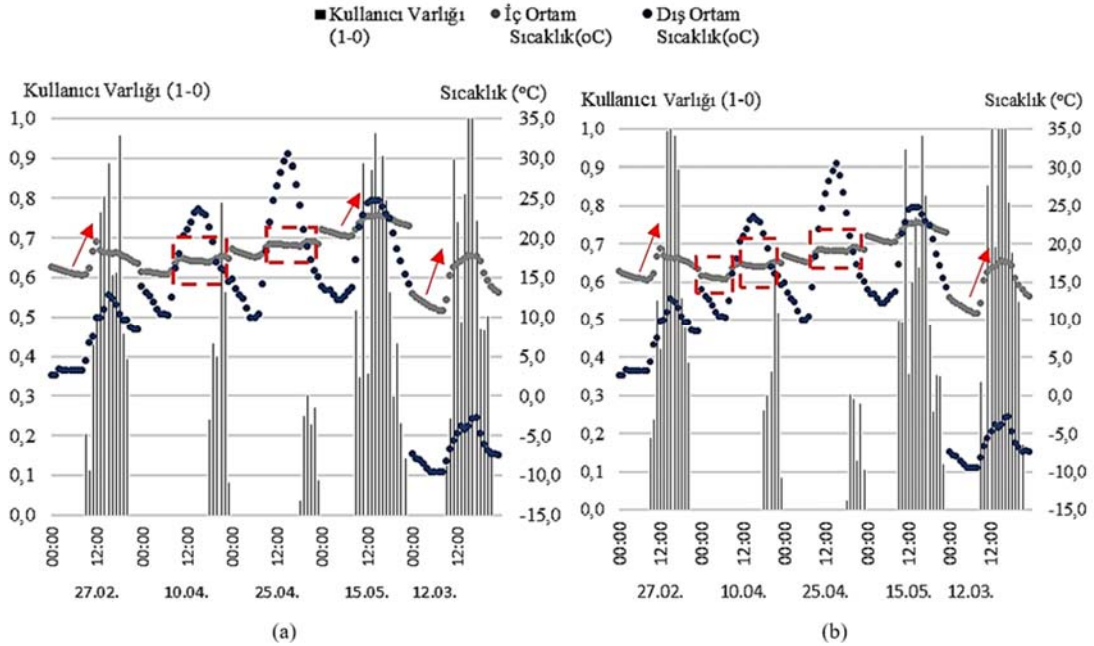
Kafeteryaya (Zon1’e) ait veriler sunan Şekil 11’de kullanıcı varlığının saat 9:00 ila 21:00 arasında farklı yoğunluklarda olduğu, ancak cami

hariminde (Zon2’ye) ve kadınlar mahfilinde (Zon4’e) kullanıcı varlığının sürekli değil kesintili olarak gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 12- Şekil 13). Namaz vakitlerinde kullanıcı varlığı tespiti yapılabilen veriler içerisinde öğlen ve akşam vakitlerinde kullanıcı yoğunluğunun daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Harim mekânı içerisindeki sıcaklıklar kafeteryaya ile benzer olmakla birlikte yüksek dış sıcaklıklarda harim içi 15,0°C-25,0°C, düşük dış sıcaklıklarda mekân içi 10,0°C-20,0°C şeklindedir.

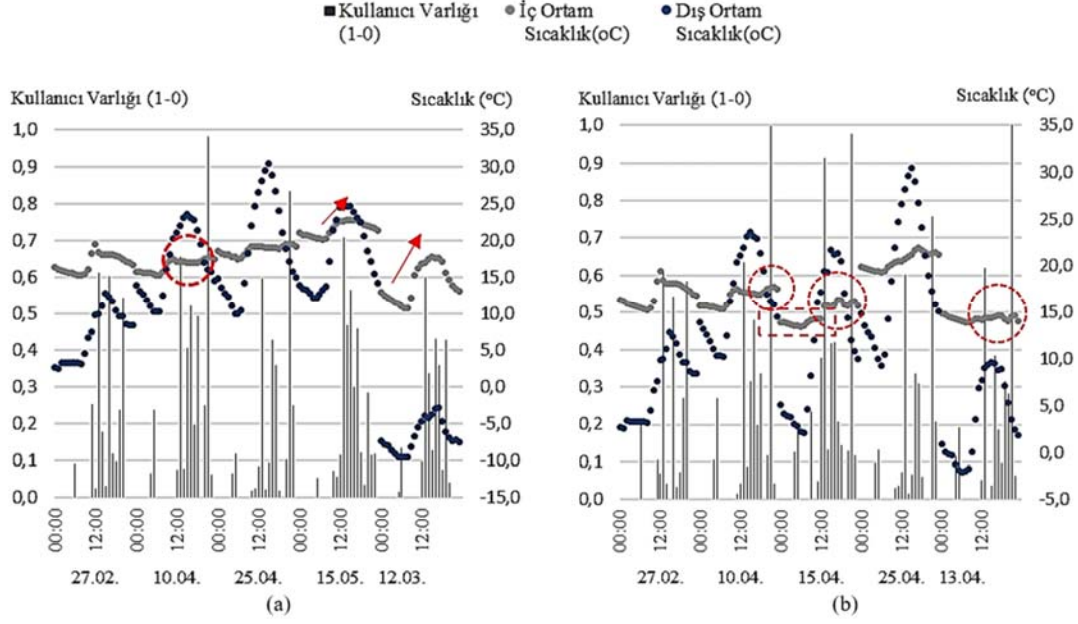
H3 ve H4 numaralı HOBO UX90-005 kayıt cihazları cami fonksiyonunun harim bölümüne asılmışlardır. Aynı mekân içerisinde yer alan cihazların farklı tarihler kapsamında değerlendirmeye alınma nedeni, H4 cihazında Mayıs ayı sürecinde meydana gelen arızadır. Harim bölümündeki namaz vakitlerine göre şekillenen kesintili kullanıcı varlığı, en düşük ve en yüksek iç-dış ortam sıcaklıklardan bağımsız bulunmuştur. En düşük ortam sıcaklığında da yapı kullanıcı varlık-yokluk ilişkisi benzer nitelik taşımaktadır. Harim verilerinde kullanıcı varlığının en yüksek olduğu tarihler Nisan ayına ait günlerde ve 21:00 saatleri civarındadır (Şekil 12). Bu durum, 2 Nisan-1 Mayıs 2022 tarihleri arasına denk gelen Ramazan ayı kaynaklıdır. Belirtilen saatlerde (21:00 civarı) ramazan ayında kılınan teravih namazı



Şekil 10. Isıl kütle, azalma faktörü ve zaman gecikmesi ilişkisi [44-45] (Thermal mass, decay factor and time lag relationship)

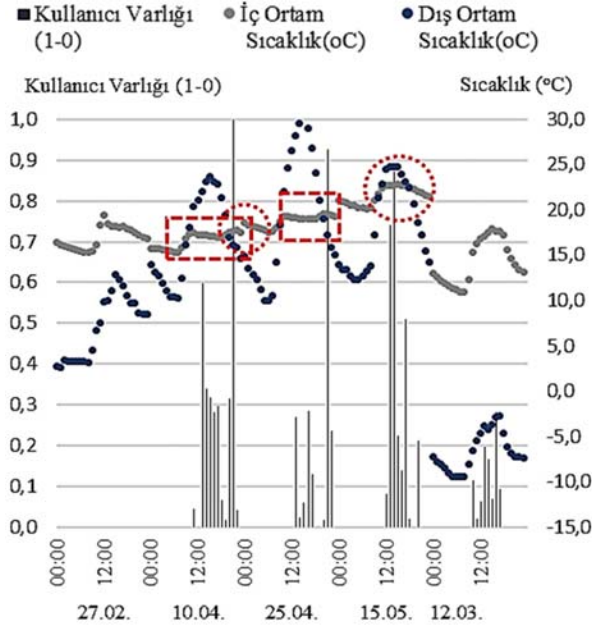


Şekil 11. Kafeteryaya (Zon1’e) ait sıcaklık ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: (a) H1, (b) H2 (Temperature and user presence relationship of the cafeteria (Zone1), Datalogger No: (a) H1, (b) H2)



Şekil 12. Harim (Zon2'ye) ait sıcaklık ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: (a) H3, (b) H4
(Temperature and user presence relationship of the Harim (Zone2), Datalogger No: (a) H3, (b) H4)

dolayısıyla cami içerisinde çok sayıda cemaat bulunmaktadır. Kullanıcı sayısındaki artışın iç ortam sıcaklığına etkisi ve Ramazan ayı dolayısı ile cami görevlileri tarafından ısıtma sistemine yapılan manuel müdahale, Şekil 11 grafiklerinde Nisan ayı günlerine ani sıcaklık farkı olarak yansımıştır. H5 cihazı, üst kotta yer alan kadınlar mahfiline ait verileri sunmaktadır (Şekil 13). Harim bölümünde tespit edilen namaz vakitlerine göre kesintili kullanıcı varlığı, kadınlar mahfilinde de geçerli olup, kullanıcı varlığı oranı harim bölümüne göre daha düşüktür. Nisan ayı verilerinde ramazan kaynaklı kullanıcı oranı yine aynı şekilde yüksektir. Kadınlar mahfili iç ortam sıcaklığı diğer mahallere oranla daha lineer davranış sergilemiştir.

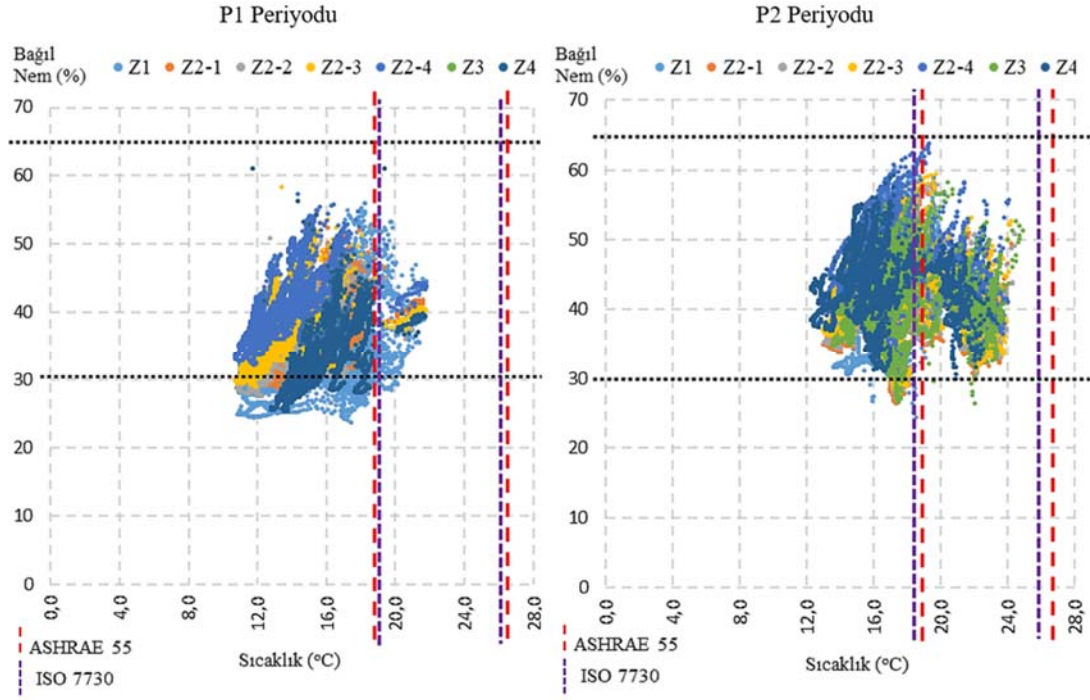


Şekil 13. Kadınlar Mahfili (Zon4'e) ait sıcaklık ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H5 (Temperature and user presence relationship of the womens place (Zone4), Datalogger No: H5)

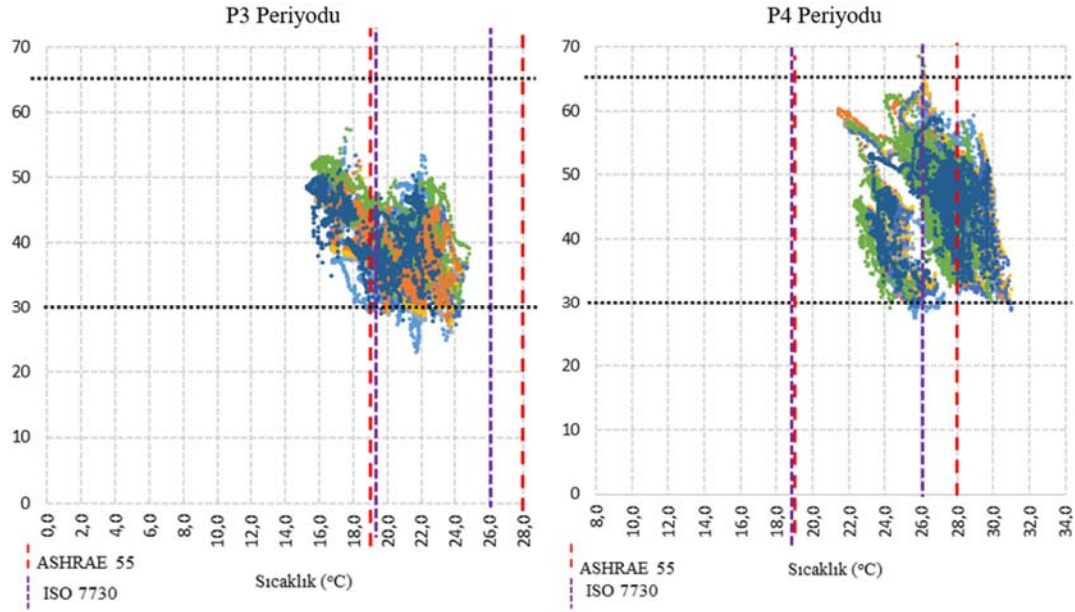
3.3. Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Comfort Conditions)

Yapıda ölçüm yapılan alanlardan elde edilen sıcaklık ve nem verilerinin çaprazlama yöntemi ile değerlendirmesi bu bölümde sunulmuştur. Değerlendirme, saatlik dağılımların ASHRAE 55 ve ISO 7730 standartlarında yer alan konfor sınırları üzerinden analiz edilmesine yöneliktir. Tablo 4'te belirlenen periyodlara göre sıcaklık-nem saatlik değerleri ve döneme göre standartlarda geçen konfor aralıkları sunulmaktadır.

Şekil 14-Şekil 15'te mevsime bağlı konfor aralıkları ASHRAE 55 için kırmızı kesikli çizgi ve ISO 7730 için mor kesikli çizgi ile temsil edilmektedir. P1 periyodu ısıtma dönemine göre düzenlenmiş P2 ve P3 periyodu ise standartlarda mevsim farklılığı gözetmeksizin yer alan minimum ve maksimum konfor aralıklarına göre değerlendirilmiştir. ASHRAE 55 (2017) standardında ısıtma dönemi için belirtilen aralık, 19,0°C-26,5°C iken soğutma döneminde 23,5°C-28,0°C'dir. ISO 7730 (2005) standardında yer alan aralıklar ısıtma dönemi için 19,0°C-26,0°C, soğutma dönemi için 24,5°C ± 1,5°C olarak belirtilmektedir. Yapıdan elde edilen veriler yukarıda belirtilen ölçütlere göre incelendiğinde ısıtma dönemini kapsayan P1 periyodu, belirtilen konfor sınırlarının en çok dışında kalan dönem olmuştur. Yapıda ölçülen iç sıcaklık değerleri sıklıkla konfor sınırlarının altında kalmıştır. Sınırlar içerisinde kalan bölümde yer alan dağılımda daha çok kafeteryaya ait veriler görülmektedir, ancak bu durumda konfor koşullarının sağlanmasının kısmen kullanıcı yoğunluğuna bağlı ısı kazanımlarına dayandırılması da mümkündür. Şekil 6 ile Şekil 14 sunuşları birlikte ele alındığında P1 döneminde kafeteryadaki sıcaklık değerlerinin genel olarak standartlara uymadığı ancak cami mekanlarına kıyasla daha konforlu bir ısı ortamı sunduğu görülmektedir. İki standartta da yer alan bağıl nem sınır aralığı %30 – %65'tir. P1'de minimum bağıl nem seviyesi altında kafeteryaya ait dağılımın diğer hacimlere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 14 üzerinden yapılan kontrolde kafeteryaya ait nem grafiğinin yer yer minimum konfor sınırının altında kaldığı doğrulanmıştır. Şekil 5'te tespit edilen Zon2-4 bölümünün nem oranlarının diğer bölümlere göre daha yüksek olma hali Şekil 14-Şekil 15 grafiklerindeki konfor aralıklarına göre incelenmiş ve nem özelinde sınırlar içerisinde



Şekil 14. Yapı bölümlerinin P1 ve P2 ısıtma dönemi saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve konfor standartlarına göre yeri (Hourly temperature-humidity distributions of building sections in P1 and P2 heating periods and their places in comfort ranges according to standards)



Şekil 15. Yapı bölümlerinin P3 ve P4 serbest dönem saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve konfor standartlarına göre yeri (Hourly temperature-humidity distributions of building sections in P3 and P4 free periods and their places in comfort ranges according to standards)

değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Isıtma dönemi (P2) Nisan ayı, serbest dönem (P3) Mayıs ayı ve (P4) Ağustos ayı verilerinin konfor sınırları dağılımında yüksek oranda nem optimum aralıklarının sağlandığı görülmektedir. P2'ye dair ölçümler sunan Şekil 13'te minimum ısı konfor sınırı altında mekanlara ait %50'den fazla veri bulunmaktadır. Söz konusu durum tüm mahallerde gözlenmiştir. Üçüncü periyoda dair veriler sunan Şekil 15'e göre, ASHRAE 55 ve ISO 7730 Standartlarında belirtilen sıcaklık sınırları altında veriler bulunmakla birlikte yapıya ait iklim verilerinin konfor değerleri

içerisinde en fazla alan tespiti serbest dönem verisi sunan Mayıs ayında olmuştur. Serbest dönem ifadesi barındıran bir diğer sezon, Ağustos ayı verileri ile dördüncü periyoddur. Belirtilen süreçte nem konfor ölçütleri yüksek oranda sağlanmakta olup, ısı konfor sınırları için yapı içi sıcaklık değerleri yüksek bulunmuştur. İç ortam sıcaklığı her iki standartta belirtilen ısı konfor üst limitini aşmaktadır (Şekil 15). Tüm grafiklerin incelenmesi sonucunda yapı içerisinde ısıtmanın aktif olmadığı dönemler (P3 ve P4) konfor aralıklarına daha yakın veriler sunmaktadır (Şekil 14-Şekil 15).

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

İzleme ve enerji denetimi, yapının mevcut durumunun analizine, analiz sonucu elde edilen tespitlere yönelik müdahale planlamalarına olanak sağlamaktadır. Elde edilen izleme verileri, enerji simülasyonları aracılığıyla güçlendirme modellerinin tasarlanmasında önemli girdiler sunmaktadır. Mevcut çalışma, bir kültürel miras binasını korurken durum analizinde izleme ve denetimin önemini vurgulamaktadır. İzleme süreci olarak ısıtma ve salınım dönemleri periyodik olarak ele alınmış, farklı dönemlere ait yapı üzerinde izlemeler gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler yapı zonları kapsamında standartlarda yer alan ısı konfor verilerine göre yorumlanmıştır. Elde edilen bulgulara yönelik çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir.

Çalışma yönteminde, yapı içerisindeki farklı mekanlar birbirlerinden ayrıştırılmış ve kendi içlerinde değerlendirmeye alınmıştır. Büyük bir hacme sahip harim bölümü, güvenilir ölçüm değerleri elde etmek amacıyla 4 farklı zona ayrılmış ve incelenen yapı 7 farklı zon üzerinden okunmuştur. Restorasyon uygulamalarında alınacak müdahale kararlarının belirlenmesinde etkin ve gerekli olduğu savunulan restorasyon öncesi yapı izleme ve gözlem yöntemi, çalışma içerisinde yapı iklim analizleri ile sunulmuştur.

Bulgulara yönelik elde edilen ilk çıkarım, farklı iklim sezonları içerisinde yapı bölümlerinin sergilediği ayrı ısı davranışlardır. Yapı içi ısıtma sisteminin aktif olduğu dönemlerde en yüksek sıcaklık değerlerine sahip cami mekânın kadınlar mahfili olduğu saptanmış ve bu durum, aktif sistem kaynaklı ısınan havanın moleküler hareket artışına bağlı bulunmuştur. Kadınlar mahfili ile ilişkilendirilen mevcut durumun ele alınan serbest dönemler (P3 ve P4) içerisinde karşılığın rastlanmamış ve aktif ısıtma kaynaklı bulunan tespit doğrulanmıştır. Tüm cami mekânlarında, üst kotta kadınlara özel ibadet mahali, ortak tipolojik unsur niteliği taşımaktadır. Bu sebeple çalışma içerisinde elde edilmiş sıcaklık farkı, hacimsel olarak düşük orana sahip kadınlar mahfili mekânı özelinde ısıtma-soğutma rejimlerinin kontrollü biçimde ele alınması gerektiğini düşündürmüştür. Cami fonksiyonuna ait diğer farklı davranışa sahip mekân, erkek cemaatin ibadet ettiği harim bölümü olmuştur. Isıtma sezonunda mekân içi en düşük sıcaklıklar bandında hareket eden harim bölümü, serbest dönem içerisinde mekânlar içerisinde en yüksek sıcaklık verilerine sahip bulunmuştur. Bu tespit farklı kotlarda iç mekânda hava hızı, yapı kabuğu sızdırmazlığı gibi parametrelerin de ölçülmesinin tarihi bir yapıda enerji performans izleme sürecinin planlanması, simülasyon ortamına aktarılması ve önerilecek iyileştirmelerin optimize edilmesi bakımından önemli olabileceğini işaret etmektedir. Diğer yandan, bu çalışmada toplanan iç-dış ortam ve yapı kabuğuna ilişkin verilerin ışığında duvarlardan ısı geçişine ilişkin azalma faktörü, gecikme süresi ve faz farkı gibi parametrelerin ön tespitlerde belirleyici olabileceği görülmüştür.

İç ortam sıcaklığı ve kullanıcı varlığı ilişkisine dair yapılan incelemeler, mekân içerisindeki ısıtma sistemi açma/kapama durumlarının tespitini olanaklı hale getirmiştir. Kafeterya ve cami görevlilerinin ısıtma sistemi üzerindeki manuel müdahaleleri, ısı konfor değerlendirilmelerine olumsuz yansımıştır. Yapı içi sıcaklık değerleri özellikle ısıtma döneminde ısı konfor sınırlarının dışında bulunmuş ve manuel müdahaleler düzenli bir ısı davranışın izlenememesine sebep olmuştur. Serbest dönemde (ısıtmanın aktif olmadığı) toplanan veriler ise binanın ısı davranışına ilişkin daha net bir kavrayış sunmaktadır. Özellikle enerji performansının değerlendirilmesinde kurulacak simülasyon modellerinin serbest dönem verilerine dayandırılması modellerin kalibrasyonu açısından daha sağlıklı olacaktır. Mevcut tespit, alınacak restorasyon müdahale kararlarında ısıtma sistemi tercihinin önemini ve kişi kontrollü müdahalelere engel yöntem arayışını ortaya koymaktadır. Mekân içi

ısı davranışında tespit edilen bir diğer faktör kullanıcı müdahalesi olmuştur. Kullanıcı çeşitliliğine bağlı pencere açma/kapama davranışlarının iç ısı dengede dalgalanmalara sebep olduğu saptanmış, binanın mevcut performansının anlaşılabilmesi için ek olarak kullanıcıların pencere ve kapı açma/kapama davranışlarının izlenmesinin restorasyon müdahalelerinin daha yüksek doğrulukla kurgulanmasına yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır. Belirlenen tespitler ve tespite yönelik müdahale tasarımları planlanan restorasyon uygulamaları öncesi altlık niteliği sunmakta, uygulama yapılacak kültürel miras yapısının tanınması ve okunmasında fayda sağlamakta, yapıya uygulanacak gereksiz ve yanlış müdahalelerin önüne geçmek için fırsat sunmaktadır. Yapı izleme teknolojileri kullanılan mevcut araştırma ile elde edilen veriler, tespitler ve müdahale tasarımları ilerleyen çalışmalarda mevcut yapı simülasyonu üzerinde uygulanacak ve çıktıları paylaşılacaktır.

Kaynaklar (References)

1. Gonzales-Torres M., Perez-Lombard L., Coronel J.F., Maestre I.R., Yan D., A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers, *Energy Reports*, 8, 626-637, 2022.
2. Jelinčić D.A., Glivetić D., Cultural heritage and sustainability, Project coordinator: INORDE – Institute for Economic Development of Ourense Province, Spain, 2016.
3. Gonçaves J., Mateus R., Silvestre J.D., Roders A.P., Going beyond good intentions for the sustainable conservation of built heritage: A systematic literature review, *Sustainability*, 12 (22), 1-28, 2020.
4. ICOMOS- International Council on Monuments and Sites. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter). https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf. Yayın tarihi 1964. Erişim tarihi Temmuz 27, 2022.
5. Piselli C., Guastaveglia A., Romanelli J., Cotana F., Pisello A.L., Facility energy management application of HBIM for historical low-carbon communities: Design, modelling and operation control of geothermal energy retrofit in a real italian case study, *Energies*, 13, 1-18, 2020.
6. Akkurt G.G., Aste N., Borderon J., Buda A., Calzolari M., Chung D., Costanzo V., Del Pero C., Evola G., Huerto-Cardenas H.E., Leonforte F., Lo Faro A., Lucchi E., Marletta L., Nocera F., Pracchi V., Turhan C., Dynamic thermal and hygrometric simulation of historical buildings: Critical factors and possible solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 1-17, 2020.
7. Havinga L., Colenbrander B., Schellen H., Heritage significance and the identification of attributes to preserve in a sustainable refurbishment, *Journal of Cultural Heritage*, 43, 282-293, 2020.
8. Lucero-Gomez P., Balliana E., Izzo-Catherina F., Zendri E., A new methodology to characterize indoor variations of temperature and relative humidity in historical museum buildings for conservation purposes, *Building and Environment*, 185, 1-17, 2020.
9. Timur B.A., Başaran T., İpekoğlu B., Capacity of traditional fireplaces (ocaks) to meet the current heating loads within the reuse of historical houses: Examples from Southwest Anatolia, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 189-200, 2023.
10. Meoni A., Vittori F., Piselli C., D'Alessandro A., Pisello A.L., Ubertini F., Integration of structural performance and human-centric comfort monitoring in historical building information modeling, *Automation in Construction*, 138, 1-17, 2022.
11. Günaydın M., Genç A.F., Altunsisk A.C., Hacıefendioğlu K., Okur F.Y., Okur E., Adanur, S., Structural condition assessment of a historical masonry school building using experimental and numerical methods, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 12, 1083-1113, 2022.
12. Arsan Z.D., Sökmen N., Monitoring and Simulating a Private House for Building Performance Analysis, Third German-Austrian IBPSA Conference, Building Performance in a Changing Environment (BAUSIM 2010), Proceedings Book, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 196-197, 2010.
13. Coelho G.B.A., Silva H.E., Henriques F.M.A., Calibrated hygrothermal simulation models for historical buildings, *Building and Environment*, 142, 439-450, 2018.
14. Al-Saadi S.N., Pragmatic retrofitting strategies for improving thermal, energy, and economic performance of an institutional building in a

- cooling-dominated climate, *Journal of Building Engineering*, 44, 1-17, 2021.
15. Özbalta T.G., Yıldız Y., Bayram İ., Yılmaz O.C., Energy performance analysis of a historical building using cost-optimal assessment, *Energy & Buildings*, 250, 1-14, 2021.
 16. Penna P., Cappelletti F., Tahmasebi F., Mahdavi A., Multi-stage calibration of the simulation model of a school building through short-term monitoring, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 20, 132-145, 2015.
 17. Ahmed T.M.F., Rajagopalan P., Fuller R., Experimental validation of an energy model of a day surgery/procedure centre in Victoria, *Journal of Building Engineering*, 10, 1-12, 2017.
 18. Sözer H., Sami Shams A., Predicting the indoor thermal data for heating season based on short-term measurements to calibrate the simulation set-points, *Energy and Buildings*, 202, 1-11, 2019.
 19. Tüysüz F., Sözer H., Calibrating the building energy model with the short term monitored data: A case study of a large-scale residential building, *Energy and Buildings*, 224, 1-13, 2020.
 20. Sciarpi F., Ghelli A., Pierangioli L., "La Specola" Museum in Florence: Environmental monitoring and building energy simulation, *Procedia Structural Integrity*, 29, 16-24, 2020.
 21. Vella R.C., Martinez F.J.R., Yousif C., Gatt D., A study of thermal comfort in naturally ventilated churches in a Mediterranean climate, *Energy and Buildings*, 213, 2020.
 22. Cho H., Yun B.Y., Kim Y.U., Yuk H., Kim S., Integrated retrofit solutions for improving the energy performance of historic buildings through energy technology suitability analyses: Retrofit plan of wooden truss and masonry composite structure in Korea in the 1920s, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 1-18, 2020.
 23. Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden alınan proje restitüsyon raporu, proje arşivi, Erişim tarihi Haziran 15, 2022.
 24. Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü, proje arşivi, Erişim tarihi Haziran 15, 2022.
 25. Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden alınan restorasyon raporu. Yayın tarihi 2013. Erişim tarihi Haziran 15, 2022.
 26. Gücyeter B., Günaydın H.M., Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building, *Energy and Buildings*, 55, 647-659, 2012.
 27. ANSI/ASHRAE Standart 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta, GA, 2017.
 28. Abushakra B., Paulus M.T., An hourly hybrid multivariate change-point inverse model using short-term monitored data for annual prediction of building energy performance, Part II: Methodology (1404-RP), *Science and Technology for the Built Environment*, 984-996, 2016.
 29. TS 825. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf. Revize tarihi Temmuz, 2009. Erişim tarihi Ekim 2022.
 30. Atmaca İ., Yiğit A., Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir-Türkiye, 543-555, 2009.
 31. Şenkal Sezer F., Kullanıcı memnuniyetinin konfor koşulları açısından değerlendirilmesi: bir eğitim binası örneği. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 16 (1), 11-19, 2015.
 32. Ganesh A.G., Sinha S.L., Verma T.N., Dewangan S.K., Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review, *Building and Environment*, 204, 1-16, 2021.
 33. EN ISO 7730, Ergonomics of the Thermal Environment-Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, 2005.
 34. Fanger P.O., Assessment of man's thermal comfort in practice, *British Journal of Industrial Medicine*, 30, 313-324, 1973.
 35. Tripathi B., Arora R.C., Moulic S.G., Effect of Buoyancy on Room Air Flow, Proceedings of the ASME 2004 Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference, Volume 2, Parts A and B, Charlotte, North Carolina-USA, 1333-1338, 11-15 Temmuz, 2004.
 36. Gücyeter B., Alptekin O., Ünver H., Yayınlanmamış Bilimsel Araştırma Projesi sonuç raporu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
 37. Francis, G.N.L., Smith, A.ZP., Biddulph, P., Hamilton, I.G., Lowe, R., Mavrogianni, A., Oikonomou, E., Raslan, R., Stamp, S., Stone, A., Summerfield, A.J., Veitch, D., Gori, V., Oreszczyn, T., Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions, *Building Research & Information*, 43:2, 238-252, 2015.
 38. Baker, P., U-values and traditional buildings, in situ measurements and their comparisons to calculated values, Edinburgh: Historic Scotland, 2011.
 39. Biddulph, P., Gori, V., Elwell, C.A., Scott, C., Rye, C., Lowe, R., Oreszczyn, T., Inferring the thermal resistance and effective thermal mass of a wall using frequent temperature and heat flux measurements, *Energy and Buildings*, 78, 0-16, 2014.
 40. Desogus, G., Mura, S., Ricciu, R., Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance, 43, 10, 2613-2620, 2011.
 41. Ülgen, K., Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor, *Energy and Buildings*, 34, 273-278, 2002.
 42. Zhang, L., Zhang, J., Wang, F., Wang, Y., Effects of wall masonry layer's thermophysical properties and insulation position on time lag and decrement factor, *Indoor and Built Environment*, 25 (2), 371-377, 2016.
 43. Shenwei, Y., Hao, S., Mu, J., Tian, D., Optimization of wall thickness based on a comprehensive evaluation index of thermal mass and insulation, *Sustainability*, 14 (3), 1143.
 44. Alshuhail K., Taleb H., Thermal performance and experimental assessment of building orientations in the United Arab Emirates (UAE), *Science and Technology for the Built Environment*, 0, 1-29, 2020.
 45. Ozel M., Pihtili K., Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations, *Building and Environment*, 42 (8), 3051-3059, 2007.