



**ENERJİ VE MALİYET ETKİN
TARİHİ YAPI RESTORASYON SÜRECİNİN
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU
İLE BELİRLENMESİ
Doktora Tezi
Ebru ULAŞ SARIAYDIN
Eskişehir 2024**

**ENERJİ VE MALİYET ETKİN TARİHİ YAPI RESTORASYON SÜRECİNİN
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE BELİRLENMESİ**

EBRU ULAŞ SARIAYDIN

Doktora Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2024

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 22DRP305 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

EBRU ULAŞ SARIAYDIN'ın ENERJİ VE MALİYET ETKİN TARİHİ YAPI RESTORASYON SÜRECİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE BELİRLENMESİ başlıklı çalışması 09/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Mimarlık Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ
Üye	: Prof. Dr. Emin AÇIKKALP
Üye	: Prof. Dr. Semiha KARTAL
Üye	: Prof. Dr. Yusuf YILDIZ
Üye	: Doç. Dr. Başak GÜÇYETER

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

09/07/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi EBRU ULAş SARIAYDIN, ENERJİ VE MALİYET ETKİN TARİHİ YAPI RESTORASYON SÜRECİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE BELİRLENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştır.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ

ÖZET

ENERJİ VE MALİYET ETKİN TARİHİ YAPI RESTORASYON SÜRECİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU İLE BELİRLENMESİ

EBRU ULAŞ SARIAYDIN

Mimarlık Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2024

Danışman: Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Bina enerji performans iyileştirmesi alan yazınına ait güncel literatürde çok sayıda müdahale alternatifleri yer almakta ve enerji performansına etkileri tartışılmaktadır. Bu çalışma, bugün için performansı etkin kabul edilen enerji iyileştirme müdahalelerinin iklim krizi etkisi ile öngörülen gelecek yıl iklim şartlarındaki enerji performanslarını araştırmaktadır. Günümüz iklim şartlarında test edilen iyileştirme müdahalelerinin öngörülen gelecek iklim şartlarındaki enerji performans tespiti ile tasarım aşamasındaki projeler için dikkat oluşturmak amaçlanmaktadır. Çalışmanın yönteminde, literatürdeki enerji iyileştirme müdahale çeşitliliği üç çerçevede sınırlandırılmakta ve üç farklı konsept müdahale paketi kurgulanmaktadır. Müdahale paketleri, 2023, 2050 ve 2080 yıllarına ait üç farklı iklim şartlarında değerlendirilmekte ve böylelikle 9 farklı enerji iyileştirme senaryo modeli oluşturulmaktadır. Tez içerisindeki baz model verileri, bir kültürel miras binasını temsil etmekte ve çalışma, bir vaka analizi sunmaktadır. Ele alınan tarihi yapı için alternatif enerji iyileştirme paketleri beş kriter çerçevesinde analiz edilmekte ve en verimli paket değerlendirmesi çok kriterli karar verme metodunun (ÇKKV) TOPSIS yaklaşımı ile sağlanmaktadır. Değerlendirmede; yıllık toplam enerji tüketimi, karbon emisyonu, ısı konfor, tarihi miras değeri ve geri ödeme süresi kriterleri kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda, tüm kriterlerden elde edilen toplam puanlar ile müdahale paketlerinin karşılaştırması sunulmaktadır. Birden fazla kriterin dahil olduğu çalışma metodu, tarihi yapılarda uygulanacak müdahalelerde, enerji verimliliği kadar tarihi yapı ile uyum kriterinin önemini ve enerji performans iyileştirmesi hedefi ile kurgulanan tüm çalışmalarda gelecek iklim projeksiyonunun gerekliliğini nicel veriler ile sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Tarihi yapı, Bina enerji performansı, Enerji iyileştirme, Çok kriterli karar verme metodu, Bina simülasyon modeli

ABSTRACT

DETERMINATION OF ENERGY AND COST EFFECTIVE HISTORIC BUILDING RESTORATION PROCESS WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD

EBRU ULAŞ SARIAYDIN

Department of Architecture

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, July 2024

Supervisor: Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ

There are many intervention alternatives in the building energy performance improvement literature. In this thesis, it is aimed to identify the low performance of retrofit interventions that respond positively to today's climatic conditions in the next year's climatic conditions and to create caution for projects in the design phase. In the methodology of the study, the diversity of energy improvement interventions in the literature is limited in three frameworks and three different conceptual intervention packages are constructed. The intervention packages are evaluated in three different climatic conditions for the years 2023, 2050 and 2080 and thus 9 different energy improvement scenario models are created. The base model data in the thesis represents a cultural heritage building and the study presents a case study. Among the alternative energy retrofit packages, the most efficient package is evaluated using multi-criteria decision making. The improvement impact of the intervention packages on the base model is analyzed based on five criteria: total annual energy consumption, carbon emissions, thermal comfort, heritage value and payback period. Scores are assigned to the energy retrofit intervention packages using the TOPSIS approach of the CRM method, the packages are ranked and comparisons are made between the packages. The findings of the thesis quantitatively demonstrate the importance of the criteria of harmony with the historical building as well as energy efficiency in the interventions to be applied in historical buildings and the necessity of future climate projection in all studies designed with the aim of energy performance improvement.

Keywords: Historical building, Building energy performance, Energy retrofit, Multi-criteria decision making method, Building simulation model.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, doktora eğitimim sürecinde akademik olarak yönlendirme ve desteklerini sunan tez danışmanım Prof. Dr. Hicran Hanım HALAÇ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tüm araştırma sürecimde değerli akademik katkılarını sunan, doktora sürecimde bir an olsun desteğini ve emeğini esirgemeyen, sabrı ve anlayışı ile örnek olan, çalışmaktan çok büyük keyif aldığım değerli hocam Doç. Dr. Başak GÜÇYETER'e saygılarımı sunar, sonsuz teşekkür ederim. Doktora değerlendirmelerime dahil olan, fikir ve yönlendirmelerini benimle paylaşan Prof. Dr. Emin AÇIKKALP'e teşekkürlerimi iletir, üzerimde emeği olan tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım. Tez Savunma Jürime dahil olmayı kabul ederek değerli katkılarını sunan, Prof. Dr. Semiha KARTAL ve Prof. Dr. Yusuf YILDIZ hocalarıma teşekkür etmek ister, saygılarımı sunarım.

Doktora sürecimde sağladığı destek için Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimine, Öncelikli Alanlar 100/2000 Doktora Bursu için YÖK'e ve 2211-A burs programında desteklerini sunan TÜBİTAK-BİDEB'e teşekkürlerimi sunarım.

Değerli üç kişilik çekirdek aileme, öncelikle sevgili eşim Emin SARIAYDIN'a sağladığı huzur ve keyif için, her adımda yanımdaki duruşu için teşekkür ederim ve 11 aylık minik oğlum Sarp SARIAYDIN'a küçük suratındaki kocaman gülümsemesiyle verdiği motivasyon için çok teşekkür ederim.

Hayatımın her noktasında inançlarını, güvenlerini, desteklerini esirgemeyen, her zaman ilerisi için beni motive eden, bana olan güvenleri ile beni sürece inandıran, cesaretlendiren sevgili aileme, başta sevgili annem Rabia ULAŞ ve sevgili babam Harun ULAŞ'a, her zaman yanımda olan kardeşim Alperen ULAŞ'a sabır ve hoşgörülerini için teşekkür ederim. Ayrıca değerli aile üyelerimden sevgili Gülsüm ve Erol SARIAYDIN'a ve bu süreçteki destek ve emeklerini esirgemeyen tüm dostlarıma teşekkürlerimi iletirim.

EBRU ULAŞ SARIAYDIN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

EBRU ULAŞ SARIAYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIX
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Önemi.....	2
1.3. Çalışma Problemi ve Hipotezi.....	2
1.4. Çalışmanın Kapsam ve Sınırları.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. Tarihi Yapılarda Enerji Performansı Üzerine İnceleme.....	6
2.1.1. İzleme ve analiz çalışmaları.....	8
2.1.2. Enerji performans modellemesinde kalibrasyon yaklaşımları: Meta-Analiz.....	9
2.2. Enerji Verimli İyileştirme Eylemlerinde Sıklık Analizi	11
2.3. Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlarda Tarihi Yapılarda Enerji Performansı	25
2.3.1. Ulusal mevzuatlarda.....	25
2.3.2. Uluslararası mevzuatlarda	26
2.4. Bölüm Sonucu.....	28

3. YÖNTEM	29
3.1. Olası Örneklemelerin ve Örneklem Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi.....	30
3.1.1. Örneklem yapı seçim yöntemi.....	31
3.1.2. İncelenen yapıların tanıtımı	34
3.1.2.1. <i>Alaeddin Cami</i>	34
3.1.2.2. <i>Tiryakizade Süleyman Ağa Cami</i>	36
3.2. Bina İzleme Sürecinin Planlanması.....	39
3.3. İzleme Verisi Analiz Yaklaşımları.....	47
3.4. Simülasyon Yaklaşımı.....	48
3.5. Model Kalibrasyon Yaklaşımları	50
3.6. Müdahale Paketlerinin Belirlenmesi	53
3.6.1. Müdahale paketi-1.....	54
3.6.2. Müdahale paketi-2.....	57
3.6.3. Müdahale paketi-3.....	60
3.7. İyileştirme Senaryolarının Oluşturulması	63
3.8. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi.....	67
3.8.1. Değerlendirme tasarımı 1: Farklı yıl iklim şartlarına göre değerlendirme (D1-D2-D3)	69
3.8.2. Değerlendirme tasarımı 2: Paket içeriklerine göre değerlendirme (D4-D5-D6).....	71
4. BULGULAR.....	73
4.1. Ön Bulgular: Örneklem Seçimi Karar Süreci.....	74
4.1.1. İncelenen yapılarda veri iklim analizi	74
4.1.1.1. <i>Alaeddin Cami verileri</i>	74
4.1.1.2. <i>Tiryakizade Süleyman Ağa Cami verileri</i>	82
4.1.2. İncelenen yapılara ait doğalgaz ve elektrik tüketimleri.....	90
4.1.2.1. <i>Alaeddin Cami tüketim verileri</i>	90
4.1.2.2. <i>Tiryakizade Süleyman Ağa Cami tüketim verileri</i>	92
4.1.3. Yapı enerji yoğunluklarının karşılaştırmalı analizi.....	94
4.1.4. Bölüm sonucu ve örneklem yapı kararı	95
4.2. İzleme Süreci Veri Analizi Bulguları.....	95
4.2.1. Sıcaklık ve bağıl nem profillerinin irdelenmesi	96

4.2.2. Isıtma, Isıl Kütle Nitelikleri ve İç Sıcaklık Profillerinin İrdelenmesi.....	104
4.2.3. Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi.....	112
4.2.4. Bölüm Sonucu ve Önerileri	115
4.3. Simülasyon Bulguları.....	117
4.3.1. İklim verileri	117
4.3.2. Mimari veriler.....	118
4.3.2.1. Bina baz modelinin geometrik modellemesi	118
4.3.2.2. Bina kabuğunun fiziksel özellikleri	120
4.3.2.3. Kullanıcı varlığı, davranış ve aktivite verilerinin tespiti	122
4.3.2.4. Bina hava sızdırmazlığı	123
4.3.2.5. Baz modele ait bulgular (M0.0 Modeli)	124
4.4. Model Kalibrasyon Süreci Bulguları.....	126
4.4.1. M1.0 modeli: Kullanıcı varlığı, davranış ve aktivite parametresi	126
4.4.1.1. M1.0-Rx modeli.....	126
4.4.1.2. M1.0-Ry modeli.....	127
4.4.1.3. M1.0-Rz modeli.....	128
4.4.2. M2.0 modeli: Pencere parametresi	129
4.4.3. M3.0 modeli: Yapı malzemelerine ait U-Değerleri.....	131
4.4.3.1. M3.0 modeli: Yapı malzemelerine ait U-Değerleri.....	131
4.4.3.2. M3.0-Ry modeli.....	132
4.4.4. M4.0 modeli: Model Revizyonu	133
4.4.5. M5.0 modeli: Sızdırmazlık değerlerinin hesaplanmaya bağlı varsayımları	134
4.4.6. M3'.0 modeli: U-değerlerinde revizyon.....	137
4.4.7. M5'.0 modeli: Bina sızdırmazlık değerlerinde revizyon.....	141
4.4.8. M6.0 modeli: Model veri revizyonu	142
4.4.9. Bölüm sonucu ve kalibrasyon değerlendirmesi	143
4.5. Senaryo Bulguları	145
4.5.1. Baz model senaryoları.....	145
4.5.2. Paket-1 senaryoları	147
4.5.3. Paket-2 senaryoları	150
4.5.4. Paket -3 Senaryoları	154

4.6. Değerlendirme ve Tartışma.....	158
4.6.1. Değerlendirme kriterlerine ait bulgular.....	158
<i>4.6.1.1. Kriter 1: Paketler arası yıllık toplam enerji tüketimi</i>	<i>158</i>
<i>4.6.1.2. Kriter 2: Paketler arası karbon emisyonu.....</i>	<i>161</i>
<i>4.6.1.3. Kriter 3: Paketler arası ısı konfor</i>	<i>164</i>
<i>4.6.1.4. Kriter 4: Paketler arası tarihi miras değeri</i>	<i>166</i>
<i>4.6.1.5. Kriter 5: Paketler arası geri ödeme süresi</i>	<i>168</i>
<i>4.6.1.6. Bölüm sonucu ve senaryolara ait kriter değerlendirmeleri</i>	<i>173</i>
4.6.2. Değerlendirme Bulguları	175
<i>4.6.2.1. D1 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>175</i>
<i>4.6.2.2. D2 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>176</i>
<i>4.6.2.3. D3 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>177</i>
<i>4.6.2.4. D4 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>178</i>
<i>4.6.2.5. D5 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>179</i>
<i>4.6.2.6. D6 Kodlu Değerlendirme Bulguları.....</i>	<i>179</i>
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	181
KAYNAKÇA.....	184
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Literatür incelemesinde tespit edilen müdahaleler ve kullanım sıklıkları	12
Tablo 2.2. Tespit edilen müdahalelerin kullanım sıklığı.....	13
Tablo 3.1. Farklı kotlara asılan TESTO veri kaydedicilerin tarihlere göre değer karşılaştırmaları (E.Y.=Ekran Yok)	33
Tablo 3.2. Cami ve bölümlerine ait metrekafe bilgisi.....	39
Tablo 3.3. İzlenen enerji performans parametreleri ve izleme sıklığı (Güçyeter ve Günaydın'dan (2012) uyarlanmıştır.)	42
Tablo 3.4. Yapı bölümlerine ait metrekafe bilgileri ve asılmış cihaz sayıları	43
Tablo 3.5. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları.....	45
Tablo 3.6. Yapı izleme periyodları	47
Tablo 3.7. ASHRAE 55 kılavuzunda yer alan grafik metodu uygulanabilirliği için gerekli aralıklar	48
Tablo 3.8. Enerji etkin iyileştirme paketleri ve müdahale içerikleri.....	54
Tablo 3.9. Müdahale Paketi 1'e ait müdahale içerikleri	55
Tablo 3.10. Müdahale Paketi 2'ye ait müdahale içerikleri	58
Tablo 3.11. Simülasyona eklenen fotovoltaik panele ait mekanik özellikler (SOLARWORLD, Sunmodule – SW100polyRGP).	59
Tablo 3.12. Aerojel yalıtım malzemesinin temel özellikleri.....	62
Tablo 3.13. Müdahale Paketi 3'e ait müdahale içerikleri	62
Tablo 3.14. Değerlendirme puanaj şeması.....	68
Tablo 3.15. Değerlendirme Tasarımı 1'e ait çerçeve.....	69
Tablo 3.16. Değerlendirme tasarımı 1 kapsamındaki kriterler	71
Tablo 3.17. Değerlendirme tasarımı 2 kapsamındaki kriterler	72
Tablo 4.1. Alaeddin Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları.....	74
Tablo 4.2. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları.....	83
Tablo 4.3. Camilere ait enerji yoğunlukları	94
Tablo 4.4. Örneklem yapıya ait genel bilgiler.....	119

Tablo 4.5. TESTO435-2 ile yapı malzemelerine ait U-değeri ölçümleri (Güçyeter ve Günaydın, 2012).....	121
Tablo 4.6. Örneklem yapı kullanıcı ısı kazanç hesapları (Güçyeter vd.'nin BAP sonuç raporundan (2022) uyarlanmıştır.).....	123
Tablo 4.7. ASHRAE 14'e göre kalibrasyon sınır değerleri	125
Tablo 4.8. Baz Modele ait iç mekan sıcaklık veri setlerinin karşılaştırması.....	125
Tablo 4.9. Cami içerisindeki eylemlere yönelik zaman ağırlıklı ortalama hesabı	127
Tablo 4.10. Örneklem yapı mekanlarının metrekare başına kullanıcı hesap tablosu...	128
Tablo 4.11. M1.0 kullanıcı varlığı, davranışı ve aktivite parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri	129
Tablo 4.12. Örneklem yapı bölümlerine ait pencere özellikleri.....	130
Tablo 4.13. M2.0 pencere parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri	130
Tablo 4.14. ASHRAE ve TS 825'te yer alan malzeme U-değerleri	131
Tablo 4.15. M3.0 U-değeri parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri	132
Tablo 4.16. M4.0 model revizyonunun baz model üzerindeki etkileri	133
Tablo 4.17. Mekanlar özelinde sızdırmazlık varsayım aralıkları için hesaplama yöntemi	134
Tablo 4.18. M5.0 etabında ele alınan hesaplamalı sızdırmazlık varsayım karşılaştırmaları.....	135
Tablo 4.19. M5.0 etabındaki hesaplamalı sızdırmazlık varsayımlarının baz model üzerindeki etkileri	136
Tablo 4.20. M3.0 etabında Kabul alınan U-değerleri ve M3'0 etabında uygulanan aşamalar	137
Tablo 4.21. M3'.0 ölçülen U-değerlerine ait alternatif model denemeleri	138
Tablo 4.22. Yapı kabuğuna ait TESTO 435-2 U-Değer ölçümleri, TS 825 U-Değeri hesaplamaları ve ortalama değer.....	139
Tablo 4.23. Ölçülen ve hesaplanan U-değeri ortalamasının denendiği model denemesi	140
Tablo 4.24. M5'0 etabında uygulanan sızdırmazlık değerleri	141
Tablo 4.25. M5'.0 etabında kurgulanan bina sızdırmazlık alternatiflerinin model sonuçları.....	142
Tablo 4.26. M6.0 etabındaki son cemaat mekanına ait güncellemelerin baz model üzerindeki etkileri	143

Tablo 4.27. Farklı yıllardaki baz model tüketim değerleri.....	146
Tablo 4.28. Paket 1 senaryo bulguları.....	147
Tablo 4.29. Paket 2 senaryo bulguları.....	152
Tablo 4.30. Paket 3 senaryo bulguları.....	155
Tablo 4.31. Paket müdahalesine bağlı aydınlatma sistem değişiminin tüketim etkisi.....	158
Tablo 4.32. Senaryo enerji tüketim farklarının verim yüzdeleri.....	160
Tablo 4.33. Tüm senaryolara ait aylık karbon emisyonları	163
Tablo 4.34. İyileştirme müdahalelerinde tarihi kimlik değerlendirmesi.....	167
Tablo 4.35. Tarihi miras değerlendirmesi sonucu paketlere ait puanlar	168
Tablo 4.36. Gelecek değer hesap formülü	169
Tablo 4.37. Müdahale paketlerine ait maliyet hesapları	169
Tablo 4.38. Geri ödeme süresi hesap formülü	171
Tablo 4.39. Paket 1'e ait geri ödeme tablosu	171
Tablo 4.40. Paket 2'ye ait geri ödeme tablosu	172
Tablo 4.41. Paket 3'e ait geri ödeme tablosu	172
Tablo 4.42. Tüm kriterler çerçevesinde senaryolara ait puan tablosu.....	173
Tablo 4.43. Senaryolara ait genel puan tablosu	175
Tablo 4.44. D1 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	176
Tablo 4.45. D2 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	177
Tablo 4.46. D3 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	178
Tablo 4.47. D4 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	178
Tablo 4.48. D5 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	179
Tablo 4.49. D6 değerlendirmesine ait puanaj tablosu.....	180

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Mevcut teze ait akış diyagramı.....	5
Şekil 2.1. Tarihi yapılarda enerji performans çalışmalarına ait yayın ve atıf sıklığı.....	7
Şekil 2.2. Müdahale içeriklerinin kullanım sıklıkları	13
Şekil 3.1. Yöntem bölümüne ait akış şeması.....	29
Şekil 3.2. Örneklem yapı karar aşamaları.....	31
Şekil 3.3. Kullanılan veri kaydediciler (a, b) ve duvar yüzeyindeki görselleri (c).....	32
Şekil 3.4. Ölçümleri yapılan iki caminin lokasyon gösterimi	34
Şekil 3.5. Eskişehir Alaeddin Cami yapı malzemeleri	35
Şekil 3.6. Alaeddin Cami son dönem restorasyon öncesi (a,b) ve sonrası (c,d) görüntüleri.....	36
Şekil 3.7. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 1900’lü yıllara ait geçmiş görseli.....	37
Şekil 3.8. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 2013 yılı restorasyonu raspa işlemi.....	37
Şekil 3.9. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami kat planları	38
Şekil 3.10. Çalışma yöntemi akış şeması	41
Şekil 3.11. Harim bölümünden elde edilen zonlar ve zonlara dahil olan kayıt cihazları.....	46
Şekil 3.12. DesignBuilder program ara yüzü	50
Şekil 3.13. Yinelemeli kalibrasyon diyagramı (Cornaro vd., 2019, s.4)	51
Şekil 3.14. Tekil ve birleşik düzende yinelemeli kalibrasyon süreci (Güçyeter vd., 2023’den uyarlanmıştır).....	52
Şekil 3.15. 2021,2050, 2080 iklim veri dağılımları.....	64
Şekil 3.16. 2023 yılı iklim verilerinde simülasyon iklim dosyası ile MGM veri dosyasının karşılaştırması	65
Şekil 3.17. Farklı müdahale paketleri ve farklı iklim yıllarından elde edilen senaryo kurgu çerçevesi	67
Şekil 3.18. CCWorldWeatherGen ara yüzü.....	70
Şekil 3.19. Değerlendirme Tasarımı 2’ye ait çerçeve	72
Şekil 4.1. Bulgular bölümüne ait akış şeması.....	73
Şekil 4.2. Alaeddin Cami Mart ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maksimum, ...	76

Şekil 4.3. Alaeddin Cami Nisan ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min.,.....)	76
Şekil 4.4. Alaeddin Cami Mayıs ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min.,.....)	77
Şekil 4.5. Alaeddin Cami’nde asılı cihazlara ait Mart ayı günlük sıcaklık ortalamalarının karşılaştırması.....	78
Şekil 4.6. Alaeddin Cami’nde asılı cihazlara ait Nisan ayı günlük sıcaklık ortalamalarının	79
Şekil 4.7. Alaeddin Camiinde asılı cihazlara ait Mayıs ayı günlük sıcaklık ortalamalarının	79
Şekil 4.8. T1 Cihazının üç farklı tarihteki ısı davranışı.....	81
Şekil 4.9. H6 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı verileri	82
Şekil 4.10. Tiryakizade Cami Mart ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ...	84
Şekil 4.11. Tiryakizade Cami Nisan ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ...	85
Şekil 4.12. Tiryakizade Cami Mayıs ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ...	85
Şekil 4.13. Tiryakizade Süleyman Ağa Camiinde asılı cihazlara ait Mart ayı günlük sıcaklık	86
Şekil 4.14. Tiryakizade Süleyman Ağa Camiinde farklı katlarda asılı cihazlara ait Mart ayı günlük.....	87
Şekil 4.15. T15 Cihazının üç farklı tarihteki ısı davranışı.....	88
Şekil 4.16. H2 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı yoğunluğu verileri	89
Şekil 4.17. H3 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı yoğunluğu verileri	89
Şekil 4.18. Alaeddin Cami ve SGK İl Müdürlüğü konumları	90
Şekil 4.19. SGK İl Müdürlüğü tarafından Alaeddin Cami için hesaplanan ödeme planı.....	91
Şekil 4.20. Alaeddin Cami 2021 yılı elektrik tüketim verileri	92
Şekil 4.21. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 2021 yılı doğalgaz verileri	92
Şekil 4.22. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 2021 yılı elektrik tüketim verileri	93
Şekil 4.23. İki camini 2021 yılı elektrik tüketim karşılaştırması.....	93

Şekil 4.24. Harim bölümünde yer alan zonların Mart-Mayıs sürecindeki ısı davranışları.....	96
Şekil 4.25. Harim bölümünde yer alan zonların Mart-Mayıs sürecindeki ısı davranışları.....	97
Şekil 4.26. P1 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	98
Şekil 4.27. P1 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	98
Şekil 4.28. P2 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	99
Şekil 4.29. P2 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	99
Şekil 4.30. P3 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	100
Şekil 4.31. P3 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	100
Şekil 4.32. P4 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	101
Şekil 4.33. P4 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri	101
Şekil 4.34. Kafeteryaya (Zon1'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H1	106
Şekil 4.35. Kafeteryaya (Zon1'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H2	107
Şekil 4.36. Harim (Zon2'ye) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H3.....	109
Şekil 4.37. Harim (Zon2'ye) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H4.....	110
Şekil 4.38. Kadınlar Mahfili (Zon4'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H5	111
Şekil 4.39. Yapı bölümlerinin P1 (25 Şubat-29 Mart) ısıtma dönemi saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve.....	112

Şekil 4.40. Yapı bölümlerinin P2 (1-30 Nisan) ısıtma dönemi saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve	113
Şekil 4.41. Yapı bölümlerinin P3 (1-31 Mayıs) serbest dönem saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve	113
Şekil 4.42. Yapı bölümlerinin P4 (10 Ağustos-10 Eylül) serbest dönem saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve.....	114
Şekil 4.43. DesignBuilder içerisine eklenen Eskişehir lokasyonu	117
Şekil 4.44. Design Builder üzerinde modellenmiş örneklem yapı görseli	119
Şekil 4.45. TESTO 435-2 U-değeri probu ölçüm anına ait görsel	120
Şekil 4.46. DesignBuilder içerisinde ASHRAE tabanlı önerilen sızdırmazlık değer görüntüsü.....	124
Şekil 4.47. Design Builder zaman-kullanıcı yoğunluğu şablon ara yüzü (Cami mekanı)	128
Şekil 4.48. Çalışma içerisindeki model sonuçlarının kalibre model sınırları içerisindeki yeri.....	144
Şekil 4.49. Baz model 2023 tüketim dağılımları	146
Şekil 4.50. Senaryolara ait baz model enerji tüketim farkı, paket kapsamlı değerlendirme	159
Şekil 4.51. Senaryolara ait baz model enerji tüketim farkı, yıl kapsamlı değerlendirme	161
Şekil 4.52. Senaryolara ait yıllık karbon emisyonu karşılaştırması.....	162
Şekil 4.53. Senaryolara ait sıcaklık-nem dağılımları ve ASHRAE standardına göre konfor aralıklarındaki yerleri	164
Şekil 4.54. Senaryoların ısıl konfor dışında kalan alan sıklıkları (saatlik).....	165

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
cm	: Santimetre
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
°C	: Santigrat Derece
W	: Watt
kWs	: Kilowatt Saat
Ah	: Amper
CO ²	: Karbondioksit
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers
BIM	: Building Information and Modelling
BREEAM	: BRE Environmental Assessment Method
CFD	: Computational Fluid Dynamics
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
EPDK	: Enerji Piyasaları Denetleme Kurulu
FDM	: Faz Değiştiren Malzemeler
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
ICOMOS	: International Council on Monuments and Sites
IEA	: International Energy Agency
ISCES	: International Scientific Committee on Energy and Sustainability
ISO	: International Standards Organization
LED	: Light Emitting Diode
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LPD	: Lighting Power Density
MBE	: Mean Bias Error
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PV	: Photovoltaics
RMSE	: Root Mean Square Error

SHGC : Solar Heat Gain Coefficient
TS : Türk Standartı
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization



1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ile birlikte dünya genelindeki tüketim hareketliliği, yoğun enerji tüketimini ortaya çıkarmaktadır. Enerji tüketimindeki artış, önemli çevresel ve ekonomik kaygıları beraberinde getirmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hazırlanan son veri paylaşımı 29 Mart 2023 tarihinde yayınlanmış, 1990-2021 yılları arası sera gazı emisyon envanteri paylaşılmıştır. Veriler doğrultusunda 2021 yılı toplam sera gazı emisyon miktarı, 1990 yılına göre 157.1% artış göstermiştir (TÜİK, 2023). 2021 yılı verilerine göre toplam sera gazı emisyonu 2020 yılına göre 7.7% artmaktadır. 2000’li yıllar ile birlikte tüketim grafiklerinde dikkat çeken ivmeli artış, tüm ülkeleri ortak paydada buluşturmakta ve bütün ülkeler enerji verimliliğine yönelik stratejik hedefler belirlemekte, tüketim payları üzerinde çeşitli eylemlere adım atmaktadır.

Dünya genelinde hakim olan karbon ayak izini azaltma ve emisyon miktarında düşüş hedefi, enerji tüketiminde büyük paya sahip binalar için enerji verimliliği standartlarına ulaşma ihtiyacını zorunlu bir başlık haline getirmektedir. Türkiye mevcut bina stokunun bir parçası olan kültürel miras yapıları, güncel literatürde enerji performansı sorgulanan ve iyileştirme hedefleri içerisinde yer alan bir kapsama sahiptir. İklim değişikliğinin tarihi yapıların iç ortam sıcaklıklarını etkilemesi, sanat eserlerinde aşınma sebep olması, kullanıcının ısıl konforunu etkilemesi ile beraberinde artan enerji tüketimi, tarihi yapıları kapsayan verimli enerji kullanımını ihtiyaç kılmaktadır. Cho vd. ’ne (2020) göre bina iyileştirme, binanın enerji performansını iyileştirmek için yeniden yapımdan daha verimli bir yöntemdir. İyileştirmeye uygun bulunan mevcut yapılar grubundaki tarihi yapılar, tipik olarak modern binalara kıyasla daha düşük performanslı inşaat ve enerji sistemleri ile kurgulanmıştır. Bu sebeple eski binalarda uygulanacak iyileştirme müdahalelerinin çıktıları, mevcut yapı envanteri içerisindeki payı gereği tüketim grafiği hedefleri içerisinde önemli bir konuma sahiptir. Öyle ki tarihi binalara yapılan enerji iyileştirme müdahaleleri, dünyada yaygınlaşmış bir çalışma alanıdır. Ulusal ve uluslararası literatürde, kültürel miras yapılarının sürdürülebilir kullanımında enerji performans değerlendirmeleri ve yapılar üzerinde kurgulanan güçlendirme müdahalelerinde enerji iyileştirme ölçütleri araştırılmaktadır. Kültürel miras yapıları için planlanan iyileştirme olasılıkları, yapıların kimlik özgünlüğü ve yapısal korunumu kısıtları ile karşı karşıya gelmektedir. Tezin, literatürde enerji verimli müdahale örneklerinin anlatıldığı bölümde (Bölüm 2.2.) aktarıldığı gibi mevcut kapsamda yapılan tüm çalışmalarda, miras değeri korunumu, eski haline çevrilebilirlik, öne çıkmayan

müdahale içeriği, sonradan eklenti belirginliği, yapı ve malzeme fiziksel bütünlüğü gibi tarihi yapı kısıtları baskın etkiye sahiptir (Bölüm 2.3).

1.1. Çalışmanın Amacı

Mevcut tez çalışması, tarihi yapıların enerji performans iyileştirmesinde uygulanmakta olan müdahalelerin günümüz ve gelecek yıllara ait iklim şartlarındaki performanslarını incelemektedir. Bugün uygulanacak bir müdahalenin gelecek yıl iklim şartlarındaki enerji performans araştırmasını birden çok kriter çerçevesinde değerlendirerek tarihi yapıda uygulanabilir, gelecek iklim şartlarında enerji performansı yüksek, enerji ve maliyet etkin iyileştirme müdahale bulgularını amaçlamaktadır. Böylece, tarihi yapılara uygulanacak performans ömrü düşük müdahale içeriklerinin tespiti ile gelecek çalışma ve planlamalara yönlendirici vaka sunumu hedeflenmektedir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Güncel literatürde, kullanımı ve çalışma çıktıları referansıyla uygulama önerileri sunulan enerji performans iyileştirme müdahalelerinin günümüz ile sınırlı tutulmaması, her bir uygulamanın gelecek yıl iklimlerindeki potansiyellerinin sunumu, mevcut ve gelecek literatüre, hedeflenen performans verimlerine, kurgulanan projelere ve uygulaması olası tüm müdahalelere öngörü sağlamaktadır.

1.3. Çalışma Problemi ve Hipotezi

Mevcut tez içerisinde ele alınan tarihi yapıda enerji performans iyileştirmesi konusu kapsam gereği iki farklı çalışma alanını bünyesine almaktadır. Enerji iyileştirmesinde kullanılacak tüm müdahalelerin tarihi yapıya uygunluğu mümkün olamamaktadır. Aynı zamanda bugün için planlanan tüm müdahalelerin gelecek yıl iklimlerindeki enerji performans uyumuna yönelik kaygı mevcuttur. Bu tezin araştırma problemleri;

- Günümüz şartlarında tarihi yapılarda gerçekleştirilen restorasyon çalışmalarına dahil edilmesi önerilen enerji performans iyileştirme müdahalelerinin, iklim krizi ile öngörülen gelecek yıl iklim şartlarındaki enerji performans potansiyeli nedir?
- Uygulanacak müdahale seçim kriterlerine iklim krizi ile öngörülen hava koşulları dahil olmakta mıdır? Dahil olmalı mıdır?

- Enerji performansına pozitif yanıt sunan uygulamaların tarihi yapı kapsamına uyumu kurgulanan müdahale içeriğinde revizyon gerektirmekte midir?

Belirtilen problemler çerçevesinde ilerletilen çalışmanın hipotezleri şu şekildedir;

Hipotez 1: Tarihi yapılar için uygulanacak enerji iyileştirme müdahalelerinde çok değişkenli karar yöntemi uygulaması gerekmektedir.

Hipotez 2: Enerji performans iyileştirmesinde tercih edilen müdahalelerin mevcut iklim krizi öngörüsünde gelecek yıl iklimlerine uyumunun araştırılması gereklidir. Böylelikle öngörülü müdahale tercihi mümkün olmakta ve gereksiz tüketim değerlerinin önüne geçilmektedir.

Hipotez 3: Bugün sık uygulama örneği görülen çalışmaların gelecek yıl iklimlerindeki performans çıktısının düşük olma ihtimali mevcuttur. Buna yönelik tespitler, bina enerji performans uygulamalarında tercih edilen müdahale içeriklerini etkileyecektir.

Mevcut tez içerisinde yürütülen inceleme, tezin örneklem yapısına uygun yerinde tespitler sonucu ilerletilen bir vaka niteliği taşımaktadır. Saptanan koşulların başka çalışmalarda farklılaşması, çıktıların azalması ya da çoğalması olasıdır. Bu sebeple çalışma içerisinde yürütülen yöntem çerçevesi altlık niteliği sunmakta, farklı araştırmalara esneklik tanımaktadır. Kurgulanan yöntemin değiştirilebilir ve yeniden kullanılabilir olması tezin öne çıkan bir noktasıdır.

1.4. Çalışmanın Kapsam ve Sınırları

Kapsam:

Tez içerisinde değerlendirme ve iyileştirme verileri sunulacak yapı, çalışma alanı gereği bir kültürel miras yapısı kapsamındadır. Mevcut kapsam içerisinde bina fonksiyon kararı önceliklidir. Karar süreci; yapı kütle verileri, cephe yüzey alanı ve yapı yükseklik verileri, yapı çevre girdileri, dış cephe ve yapı içerisinde değişen malzeme özellikleri, mimari koruma başlıkları ve yönetmeliklere uygun yapı üzerinde müdahale nokta seçenekleri gibi maddeler kapsamında ilerletilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda örneklem yapı seçiminde cami fonksiyonu üzerinde çalışma kararı alınmıştır. Örnek vaka kararında cami fonksiyonu seçim maddeleri;

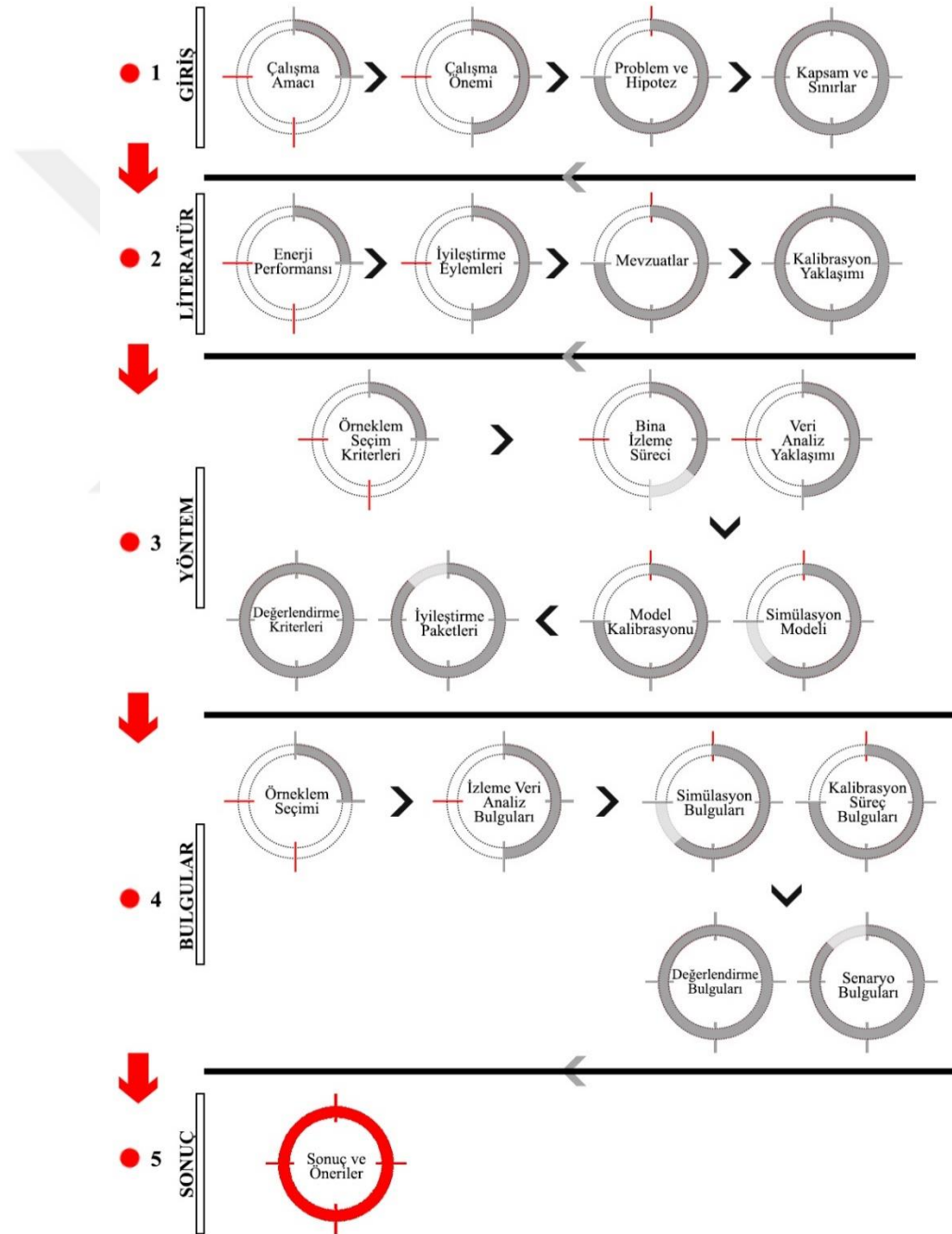
- Yapı k t le verilerinde, ayırık nizam planı ile tüm cephelerin açık olması ve bu sayede doğal aydınlatma ve havalandırma imk nlarına elverişli olması,
- Tüm cephelerde güneş enerjisinden maksimum fayda olanağı,
- Restorasyonlarının sıklıkla vakıflar bölge müdürlüğü tarafından yönetilmesi ve bu noktada kamusal kurum süreç kontrolünde disiplinin ve denetimlerin varlığı,
- Kamusal denetimde gerçekleştirilmiş çalışmanın yaygın etki gücü,
- İşlev ve kullanım sıklığına göre kesintisiz ziyaretçi imk nı,
- Her yaş grubu ve her ekonomik kesime hitap eden fonksiyon düzeni ile birlikte ziyaretçi çeşitliliği ve bu sayede uygulanacak projenin oluşturacağı farkındalık  l eği şeklinde-dir.

Sınırlar:

Mevcut tez, bir vaka üzerinde müdahale ve temas gerekliliğine sahip bir çalışma yöntemi ile yürütülmektedir. Tarihi bir yapı üzerinde yürütülen çalışmada karşılaşılan sınırlar aşağıdaki gibidir.

- Çalışma alanı olarak belirlenen örneklem yapı, tescilli bir tarihi yapıdır. Bu nedenle yapı üzerinde uygulanacak her bir test için koruma kurulu ve m ft l kten izinler alınması gerekmekte böylelikle yapı üzerinden elde edilecek iklim verilerinde kullanılan cihazlar ve cihaz montajları kurul yönlendirmeleri ile gerçekleştirilmektedir.
- Sürekli ve denetimsiz kullanıma sahip yapı içerisinde iklim veri kayıt cihazlarının güvenli muhafazası için cihazlar, standartlarda belirtilen yüksekliklere asılamamış, ortalama bir insan boyunun üzerinde yüksekliğe yerleştirilmiştir. Bu durumda, tez içerisinde materyal ve metot bölümünde detaylı anlatımı sunulan haftalık periyodlarla elde edilen verilerin hata paylarına yönelik veri düzenlemeleri gerçekleştirilmiştir.
- Tercih edilen simülasyon programı içerisinde araştırmada kullanılan kimi malzeme ve ekipmanlar yer almamaktadır. İlgili ekipmanların özellikleri satıcı firmalardan temin edilip program içerisine manuel tanımlanmıştır.

Mevcut tez çalışması kapsamında birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Sıralı adımlar ile ilerleyen çalışmanın her adımında kullanılan yöntem ve o adıma ait bulgular tez içerisinde ayrı başlıklar şeklinde sunulmaktadır. Bu kurgu ile tezin tüm aşamalarına ait detaylı ve okunabilir sunum amaçlanmaktadır. 5 bölümden oluşan tezin içeriğine ait diyagram Şekil 1.1’de görselleştirilmektedir. Çalışmanın yöntem ve bulgular bölümü alt başlıklar halinde etaplanmaktadır. Her etaba ait yöntem ve bulgular aynı başlık kapsamında sunulmaktadır (Şekil 1.1.).



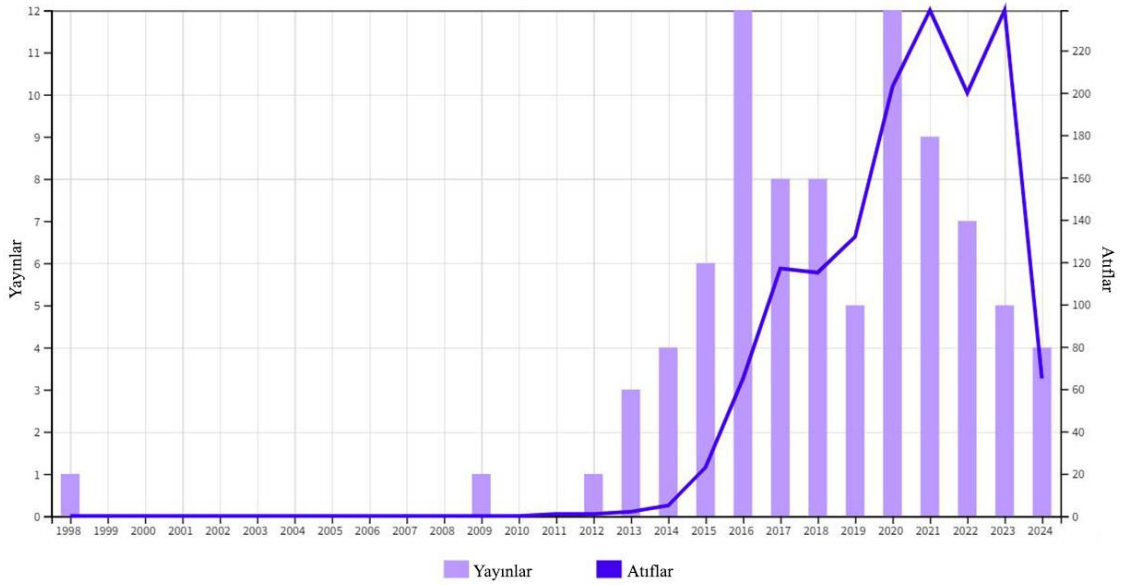
Şekil 1.1. Mevcut teze ait akış diyagramı

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tarihi yapılardaki enerji performans çalışmalarının inceleme ve analiz yöntemleri ve literatürde yer alan performans değerlendirme çıktıları paylaşılmaktadır. Çalışmalar içerisinde kullanılan enerji iyileştirme müdahaleleri örneklenerek, incelenen çalışma kapsamı içerisindeki müdahale içerik alternatifleri sıklık analizi ile sunulmaktadır. Bölümün üçüncü başlığında ise ulusal ve uluslararası mevzuatlardaki enerji yönlendirmelerinde kültürel miras kavramının yeri araştırılmaktadır. Literatür paylaşımında son olarak, simülasyon programları ile oluşturulan enerji performans modellemelerinde kalibrasyon yaklaşımları aktarılmakta, son 10 yıl içerisinde yayımlanmış çalışmaların meta analizi aktarılmaktadır.

2.1. Tarihi Yapılarda Enerji Performansı Üzerine İnceleme

Koruma alanındaki uluslararası alan yazınının son on yıl kapsamına bakıldığında tarihi yapıların fiziksel korunumu, işlevsel çekiciliği, yapı ve malzeme sağlığı, ısı konforu, enerji verimliliği ve iç mekan konforu (Piselli vd., 2020; Akkurt vd., 2020; Havinga vd., 2020; Lucero-Gomez vd.,2020) gibi yapı fiziği konularındaki çalışmalar daha sık görülür hale gelmektedir. Tarihi yapı ve enerji performansı anahtar kelimeleri ile Web of Science kapsamında yapılan araştırma sonucu Şekil 2.1. ile sunulmaktadır. Küresel iklim değişimi ve enerji verimliliği çalışmaları kapsamında tarihi yapıların da dikkate alınmaya başlaması sonucunda özellikle 2012 yılından itibaren bu alanda yapılan çalışmaların yayınlanma sıklığı artmaktadır (Şekil 2.1.). İklim değişikliğinin tarihi yapıların iç ortam sıcaklıklarını etkilemesi, korunması gereken eserlerde aşınmaya sebep olması, kullanıcıların ısı konforunun etkilenmesi gibi faktörlere dayalı olarak tarihi yapılarda artan bir enerji talebi ortaya çıkmakta, dolayısıyla tarihi yapılar, binalarda enerji verimliliği alanında tartışılır hale gelmektedir (Cho vd., 2020, s.2).



Şekil 2.1. Tarihi yapılarda enerji performans çalışmalarına ait yayın ve atıf sıklığı

Tarihi yapılar üzerinde belirli dönemlerde ve müdahale gerektiren durumlarda uygulanan restorasyon eylemleri yapının mevcut durum analizini ihtiyaç kılmaktadır. Bu analiz, strüktürel değerlendirmeler kadar yapının enerji verimliliği üzerine de dikkat gerektirmektedir. Yapı üzerindeki donatıların, iklimlendirme sistemlerinin servis ömürlerine, enerji verimlilik değerlendirmelerine yoğunlaşmaktadır. Bu değerlendirmeler, koruma seviyelerine göre sınıflandırılan binalar üzerine planlanan iyileştirme müdahalelerinin belirlenmesinde altlık sağlamaktadır (Saez-Perez vd., 2024, s.2).

Binaların enerji değerlendirmesinde simülasyon yöntemi sık kullanılmaktadır. Ortam koşulları ve malzeme fiziksel özellikleri bilinen bir tarihi yapı için simülasyon modellemesi yöntemi ile incelenen yapının modeli üzerinde iyileştirme müdahaleleri test edilebilmekte ve müdahale sonrası enerji performans etkileri tartışılabilmektedir (Sarıaydın vd., 2024, s. 945). İncelenen yapının simülasyon modelinin gerçek yapı ile adaptasyonu, var olan yapı ile benzer ve güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu noktada, gerçek yapıya ait tüm özellikler simülasyon modeline olabildiğince benzer ve eksiksiz eklenmelidir. Bina enerji simülasyon çalışmaları irdelendiğinde gerçek yapı üzerinde izleme çalışmaları söz konusudur. Enerji performansına yönelik bina izlemelerinde iklim verilerine, kullanıcı takibine, iç mekan konfor parametrelerine ait izlemeler gerçekleştirilmekte, belirlenen sürelerde veriler toplanmaktadır.

2.1.1. İzleme ve analiz çalışmaları

Mimari koruma alanında yapı fiziki araştırmalarının yürütüldüğü çalışmalarda yapı üzerinde takip, analiz ve izleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bina izleme yönteminde, çalışmaya konu olan yapı ve yapılar sensörler tarafından gerçek zamanlı izlemeye alınmakta, kurgulanan çalışma gereksinime yönelik sıcaklık, nem, aydınlatma açık-kapalı kalma süresi, kullanıcı yoğunluğu vb. parametre takipleri yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında gözetilen parametreye uygun ekipman temini ile birlikte yapı üzerinde gerçek zamanlı izleme başlatılmakta, sensörler ile elde edilen veriler sanal modeller üzerine işlenmektedir (Lucero Gomez vd., 2020; Meoni vd., 2022; Günaydın vd., 2022). Sanal modeller ve simülasyon kullanımı yeni bina tasarımında performans odaklı tasarım kararlarında, mevcut ve tarihi yapılar gibi yapı stokunun enerji performans analizinde, kentsel enerji planlamasında kullanılabilmektedir (Pan vd., 2023). Afrika ülkelerinin enerji performansını analiz etmek amacıyla Akpahou vd. (2024) tarafından yürütülen literatür incelemesi bulgularına göre tekil yapı ya da kent bazlı bütüncül karar verme, politika oluşturma süreçlerinde enerji talebi ve tedarik planlaması kapsamında da enerji sanal modellerinin kullanımı gerekli bulunmaktadır.

Var olan bir bina üzerinde yürütülecek enerji verimliliği ve ısı konfor araştırmalarında kullanılan izleme yöntemleri irdelendiğinde izleme sürelerinin farklılık gösterdiği saptanmıştır. Bazı çalışmalarda en az bir yıl süreyle uzun dönemli izleme yaklaşımı uygulanırken (Arşan ve Sökmen, 2010; Coelho vd., 2018; Al-Saadi, 2021; Özbaltı vd., 2021) diğer çalışmalar farklı mevsimlere denk gelen periyod ritimleri halinde yürütülen kısa dönem/tekrarlı izleme çalışmaları aracılığıyla bina performans analizleri yürütmektedir (Penna vd., 2014; Penna vd., 2015; Ahmed vd., 2017; Sözer ve Sami Shams, 2019; Tüysüz ve Sözer, 2020).

Lizbon'daki 13.yy. eseri olan bir tarihi kilise üzerinde çalışan Coelho vd. (2018) kilisenin iç mekan konfor analizi için 1 yıldan fazla sürede kilisenin iklim davranışlarını izlemişlerdir. Bir yıl boyunca elde edilen sıcaklık ve su buharı verileri ölçülen ve simüle edilen değerlerin karşılaştırması ve kalibrasyon ölçekleri ile değerlendirilmekte ve üzerinde çalışılan kiliseye en yakın sanal model erişimi sağlanmaktadır. İtalya'nın Schio belediyesindeki bir ilköğretim okuluna ait tarihi bina için enerji ve maliyet etkin güçlendirme projesi için mevcut yapı 2 yıl boyunca kesikli periyodlarda tekrarlı ritimlerde izlenmekte ve kalibre model üzerine daha güvenilir müdahale planı oluşturulmaktadır (Penna vd., 2014). Uzun dönem izleme ya da periyodik izleme

çalışmalarına ek olarak kısa dönem izleme verileri ile model kalibrasyonu sağlayan çalışmalarda mevcuttur. Arsan ve Sökmen'e ait çalışmada (2010) iki katlı özel mülk bir villanın pasif ev standartları için güçlendirme projesi yürütülmekte ve ön çalışma olarak yapının enerji performans analizi kurgulanmaktadır. Binanın mevcut durum okuması ve gelecek müdahale tasarısı için yürüttükleri enerji performans çalışmasında 2010 yılı kış dönemi boyunca bina izlenmektedir. 1 Ocak-31 Mart tarihleri süresince izlenen yapıya ait simülasyon modeli kış boyunca elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulmakta ve model kalibre edilmektedir. Al-Saadi (2021) mevcut bir binanın işletme eksiklerini araştırmak amacıyla hazırladığı çalışmasında kısa dönem verileri ile simülasyon modelini oluşturmakta ve kısa dönem için toplanan veriler ile model kalibrasyonunu sağlayabilmektedir. Kısa dönem izlemelere bir diğer örnek olan Sözer ve Aldin'e ait çalışmada (2019) mevcut binaya ait model 31,5 günlük izleme verileri ile kalibrasyon şartları sağlanmaktadır. Çalışma içerisinde incelenen yapının toplam enerji tüketimini tahmin etmek ve gerçek yapı ile eşleşen doğru simülasyon modeli oluşumunda kısa dönem izleme verileri kullanan Ahmed vd. (2017) izleme verilerine ek olarak, yapıya ait enerji yoğunlukları, farklı tipolojilerde enerji tüketim örnekleri, ısı transfer formülleri gibi çeşitli kaynaklardan toplanan verileri izleme verilerine dahil etmekte ve elde edilen tüm veriler ile kalibre model güvenilirliği artırılmaktadır.

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.

2.1.2. Enerji performans modellemesinde kalibrasyon yaklaşımları: Meta-Analiz

Bir binanın olası çıktılarını tahmin edebilmek için gerçek binanın davranışının olabildiğince doğru bir şekilde üretildiği sanal bir modele ihtiyaç duyulmaktadır (Cornaro vd., 2019, s.2). Oluşturulan simülasyon modelinin gerçek yapı ile davranış benzeşiminde modelin kalibrasyonunun sağlanması gerekmektedir (Angelotti vd., 2018, s.2 ve Sun vd., 2022, s.1).

Kalibrasyon, oluşturulan bina enerji modeline ait çıktılar ile gerçek yapı üzerinden ölçülen verilerin uzlaştırılması için model üzerine eklenen parametrelerin, anket ve gözlem verilerinin, uzun ya da kısa/tekrarlı periyotlarda yapı üzerinden alınan izleme verilerinin kullanılması ve değiştirilmesi ile yinelemeli bir süreçten oluşmaktadır

(Cornaro vd., 2019, s.2; Reddy, 2006, s.227; Bertagnolia vd., 2012, s.2). Bina enerji modeline ait kalibrasyonun sağlanmaması durumunda oluşan performans boşlukları ve bu boşlukların sebep olduğu yanlış çıktılar Balaras vd.'nin çalışmasında (2016) 8500'den fazla konut üzerinden örneklenmiştir. Çalışma içerisinde gerçek yapı enerji tüketimlerinin enerji performans sertifikalarında hesaplanmış enerji tüketiminden 44% daha düşük olduğunu göstermiştir. Yin vd (2016) ve Yoshino vd.'ne (2017) ait çalışmalarda da kalibrasyon öncesi enerji simülasyon modellerinin gerçek yapıdan uzak davranışlar sergilediği karşılaştırmalı ispatlar ile sunulmuştur. Bina enerji kullanımı iklim, bina kabuğu, bina hizmetleri, enerji sistemleri, bina işletim ve bakımı, yapı kullanıcı faaliyetleri/davranışları ve iç ortam kalitesi olmak üzere temel olarak altı faktörden etkilenmektedir. Yoshino vd. (2017) çalışmalarında kullanıcı odaklı faktörlerin simülasyon girdilerinde önemsenmediğini ve gerçek yapıdan farklı sonuçlar sunmasında kullanıcı odaklı değişkenlerin etkin parametreler olduğunu savunmaktadır. Kullanıcı parametresinin kalibrasyona etkisini araştıran çalışmalardan Güçyeter vd. (t.y) yinelemeli kalibrasyon yaklaşımında kullanıcı varlık/yokluk verilerinin, pencere açma/kapama davranışının, aydınlatma kullanım davranışının kalibrasyona etkisini tekil ve bileşik ölçeklerde incelemiştir. Ogando vd. (2017) İspanya'nın kuzeybatısındaki okul merkezini oluşturan mevcut binaların simülasyon modeli ve model kalibrasyonu üzerine araştırma yapmış ve aynı şekilde kalibrasyon uygulaması öncesi model sonuçlarının yapıya dair sağlıklı veriler sunmadığını belirtmiştir. Çalışma, bakımsız durumda olan bir yapıya ait model kalibrasyonun mümkün olduğunu belgelemiştir. Samuelson vd. (2016), çalışmasında kalibrasyon adımlarının model benzeşimine etkisini sorgulamış, ilk modeli ifade eden baz modelin gerçek yapı enerji tüketiminden 36% eksik tahmin sunduğunu ve süreç sonunda, yapıya ait fatura verilerinin kalibrasyon için yadsınamaz etkilerini paylaşmıştır. Sarna vd. (2022), yüksek benzeşim sağlayan yinelemeli kalibrasyon deneyiminde pencere açma/kapama da dahil olmak üzere bina içerisindeki hava değişiminin uygun modellemesini etkin parametre olarak sunmaktadır.

Literatürde yer alan çalışma verileri ile birlikte bir simülasyon modelinin belirli bir mevcut duruma uygun kalibrasyonunun hassas ve tekrarlı müdahaleler gerektirdiği belirtilebilmekte, etaplar halinde planlanan parametre değişkenlerinin etkisine ait analizlerin mümkün olduğunu göstermektedir. Simülasyon modeli ve gerçek yapı benzeşim oranlaması, simülasyon modeli ve gerçek yapı ölçümleri karşılaştırmasındaki hata payları üzerinden değerlendirilmektedir. Değerlendirme ölçeği olarak Kök Ortalama

Hata (RMSE) ve Ortalama Çapraz Hata (MBE) istatistiksel endeksleri kullanılmaktadır. Model doğruluğunu ifade eden denklem sonuçları ASHRAE Guideline 14, Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü (IPMVP) vb. ölçme ve doğrulama kılavuzlarındaki sınır değerlere göre incelenir (Güçyeter vd., t.y).

Uluslararası alanda, enerji etkin bina tasarımlarında, enerji performans analizlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş çeşitli simülasyon araçları bulunmaktadır. Attia'nın çalışmasında (2010) farklı Bina Performans Simülasyonu (BPS) araçlarına dair karşılaştırmalar sunulmakta ve kullanım zorlukları ve fırsatlarına yönelik karşılaştırmalı analizler paylaşılmaktadır. Kullanılan simülasyon araçlarına örnek olarak Energy Plus ile ortak benzetim motoru kullanan DesignBuilder, TRANSYS, Energy-10, ECOTECH, e-QUEST verilmekte, oluşturulacak simülasyon model gereklilikleri, program kapsamına bağlı kullanılacak araç seçimi yapılabilmektedir (Attia, 2010, s. 14; Harputlugil Ulukavak, 2014, s.28).

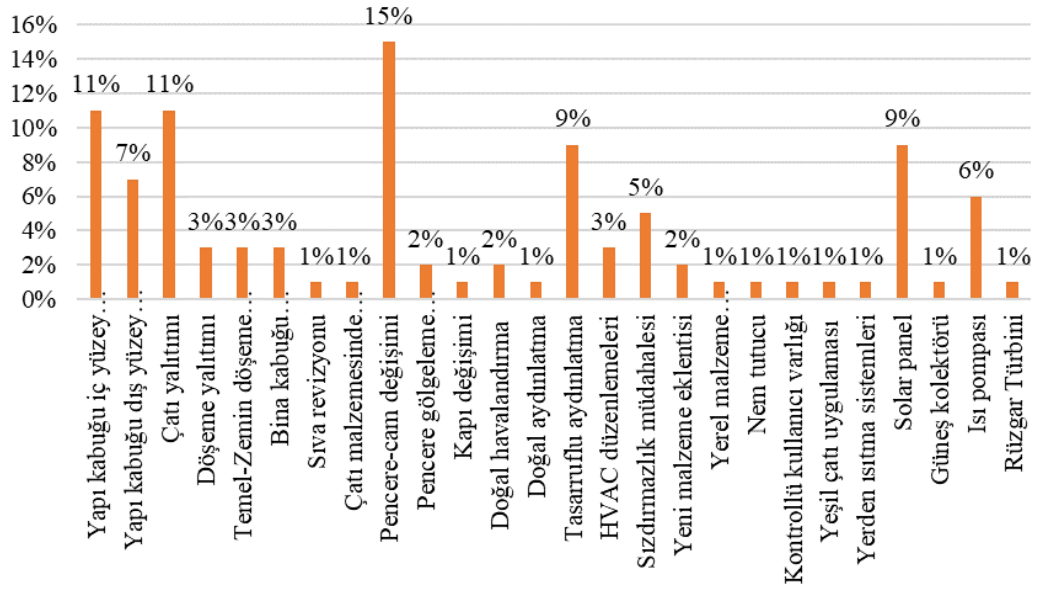
2.2. Enerji Verimli İyileştirme Eylemlerinde Sıklık Analizi

Enerji verimli proje içerikleri, özellikle son 20 yılda gerekliliği ispatlanmış ve çözüm kapsamı genişlemiş bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarihi yapıların bu kapsam içerisine gün geçtikçe dahiliyeti artmakta ve çalışma içerikleri detaylandırılmaktadır. Kültürel miras değeri taşıyan yapılardaki verimli enerji tüketim hedefine dair yapılan araştırmalar ve çalışmalar içerisinde uygulanan müdahaleler “sürdürülebilir yenileme-sustainable renovation” anahtar kelimesi altında incelenmiştir. Belirlenen araştırma sınırlarının netleştirilmesi için arama yapılan anahtar kelimeler; “sustainable renovation + heritage buildings/historical buildings + energy + intervention” şeklinde belirlenmiştir. Science Direct ve Web of Science veri tabanlarından elde edilen 264 makale incelemesine göre ele alınan müdahale çeşitleri bu bölümde tartışılmaktadır. İncelenen 264 makale içerisinde uyguladıkları müdahalelerin paylaşımı ve tartışması bulunmayan çalışmalar ve belirtilen anahtar kelimelerin sadece literatürde yer alması ve incelenen makalenin belirlenen sınırlardan bağımsız olmasına örnek çalışmalar kapsam dışı olarak ele alınmıştır. Gerekli daraltma ile müdahale incelemesi yapılabilecek 63 makale elde edilmiştir. Müdahale incelemeleri bu 63 çalışma üzerinden yürütülmüş, çalışmalar içerisinde toplamda 175 müdahale tespit edilmiştir.

İncelenen tüm çalışmalarda örneklem yapı olarak miras yapıları ele alınmakta ve bu tip yapılarda enerji güçlendirme hedefine uygun uygulanabilecek müdahale araştırmaları yapılmaktadır. Miras binalarının onarımında ya da üzerine planlanan herhangi bir değişiklikte ilgili resmi organların incelemesi, takibi ve onayı gerekmektedir. Bu durum tarihi yapılar üzerine planlanan güçlendirme çalışmaları için kısıtlar oluşturmaktadır (Tokede vd., 2018; Lopez ve Frontini, 2014). Bu kısıtlar doğrultusunda incelenen simülasyon çalışmaları ya da proje önerileri üzerindeki kurgu müdahaleler; bina kabuğunda yalıtım ve güçlendirme, sızdırmazlık onarımı, sıva değişimi, nem önleyici müdahaleler, bina cepesindeki pencere ve kapı elemanlarında yer değişimi, ebat değişimi, malzeme değişimi, pencerelere gölgeleme eleman dahiliyeti, doğal havalandırma, doğal aydınlatma kurgu eklentisi, HVAC sistem eklemeleri ya da yenilemeleri, bina aydınlatma elemanlarına müdahale, yapıların mimari planlarında revizyon, yeni bölüm eklemeleri ya da var olan bölümlerde iptaller, yeni, modern ve ya yerel malzeme kullanımı, yeşil çatı uygulamaları, güneş paneli, güneş kolektörü, ısı pompası, rüzgar türbini gibi aktif ve pasif sistem eklentileri şeklinde sıralanabilmektedir (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. *Literatür incelemesinde tespit edilen müdahaleler ve kullanım sıklıkları*

No	Müdahale	Sıklık	No	Müdahale	Sıklık
1	Yapı kabuğu iç yüzey yalıtımı	11%	14	Tasarruflu aydınlatma	9%
2	Yapı kabuğu dış yüzey yalıtımı	7%	15	HVAC düzenlemeleri	3%
3	Çatı yalıtımı	11%	16	Sızdırmazlık müdahalesi	5%
4	Döşeme yalıtımı	3%	17	Yeni malzeme eklentisi	2%
5	Temel-Zemin döşeme yalıtımı	3%	18	Yerel malzeme müdahalesi	1%
6	Bina kabuğu güçlendirmesi	3%	19	Nem tutucu	1%
7	Sıva revizyonu	1%	20	Kontrollü kullanıcı varlığı	1%
8	Çatı malzemesinde revizyon	1%	21	Yeşil çatı uygulaması	1%
9	Pencere-cam değişimi	15%	22	Yerden ısıtma sistemleri	1%
10	Pencere gölgeleme elemanı	2%	23	Solar panel	9%
11	Kapı değişimi	1%	24	Güneş kolektörü	1%
12	Doğal havalandırma	2%	25	Isı pompası	6%
13	Doğal aydınlatma	1%	26	Rüzgar Türbini	1%



Şekil 2.2. Müdahale içeriklerinin kullanım sıklıkları

Bu bölümde literatür kaynakları içerisinde incelemeye alınan çalışmaların kullandığı yöntemler ile müdahale kümesi oluşturulmaktadır. Literatürdeki müdahalelerin aktarımı kullanım sıklıklarına (Şekil 2.2.) göre 3 ölçekte aktarılmaktadır (Tablo 2.2.). Bölüm içerisindeki sunuş yöntemi sıklık ölçekleri çerçevesinde aktarılmakta, müdahaleleri kullanan çalışmaların detaylarını ve müdahale içeriklerini kapsamaktadır.

Tablo 2.2. Tespit edilen müdahalelerin kullanım sıklığı

Sık	Orta	Seyrek
Pencere-cam değişimi 15%	Yapı kabuğu dış yüzey yalıtımı 6%	Pencere gölgeleme elemanı 2%
Çatı Yalıtımı 11%	Isı pompası 6%	Doğal havalandırma 2%
Yapı kabuğu iç yüzey yalıtımı 11%	Sızdırmazlık müdahalesi 5%	Yeni malzeme eklentisi 2%
Solar panel 10%	Bina kabuğu güçlendirme 3%	Kapı değişimi 1%
Tasarruflu aydınlatma 9%	Döşeme yalıtımı 3%	Yerel malzeme müdahalesi 1%
	Temel-Zemin döşeme yalıtımı 3%	Doğal aydınlatma 1%
	HVAC düzenlemeleri 3%	Nem tutucu 1%
		Sıva revizyonu 1%
		Kontrollü kullanıcı varlığı 1%

Tablo 2.2. (Devam) *Tespit edilen müdahalelerin kullanım sıklığı*

Yeşil çatı uygulaması	1%
Güneş kolektörü	1%
Rüzgar türbini	1%
Yerden ısıtma sistemleri	1%

Çeşitliliğe sahip müdahale kurguları yapı özelinde problemleri alan kontrollerine uygun planlanmakta, tarihi yapı kısıtları gözetilerek uygulanmakta ya da uygulanamayan müdahalelerin sağlayacakları çıktılar simülasyon programları ile paylaşılmaktadır. Çalışmalar içerisinde en sık uygulaması tespit edilen müdahale, yapı cephesinde bulunan pencerelerdeki revizyonlar olarak tespit edilmiştir. Bu revizyonlar, pencere çerçeve malzemesinde ya da var olan camın fiziksel özelliklerinde değişim, açıklık ölçülerinde ve cephedeki lokasyonlarında değişim gibi farklı müdahalelerin içeriğine dahil olmaktadır. Hırvatistan'daki Krsan Kalesi üzerinde enerji verimli önlemler denenmiş, kalenin enerji talebi üzerindeki etkisi sorgulanmakta ve denemeler sonucunda en yüksek enerji talep düşüşleri dış pencerelere eklenen gölgeleme elemanları ve doğal gece havalandırmaları ile sağlanmaktadır (Blecich vd., 2016). Jiang vd. (2022) miras binalarına uygulanabilecek müdahale araştırmasında 28 olası deneme kurgulamakta, bu deneme çalışmalarında 7 farklı yalıtım malzemesi ve 4 pencere tipinin yapı talebine etkisi sorgulanmaktadır. Tarihi yapıların sosyal, kültürel, ekonomik sürdürülebilirliğinde koruma çalışmalarının, güçlendirme müdahalelerinin gerekliliğini baskın bir şekilde belirten Khalil vd. (2018) İskenderiye'deki Villa Antoniadis üzerinden bir vaka çalışması sunmakta ve simülasyon üzerinden uygulama çıktılarını paylaşmaktadır. Müdahale kurguları içerisinde ısı yalıtımı, aydınlatma kontrolü, doğal havalandırma ile birlikte çift cam uygulaması ve pencerelerde gölgeleme elemanı eklentili varsayımsal uygulamalar sorgulanmakta, çalışma sonucunda ısıtma, soğutma ve aydınlatma tüketimlerindeki düşüşler paylaşılmaktadır. İtalya'da bulunana Varese şehrindeki bir eğitim binasında geniş alan kaplayan pencerelerin ebatları ve malzemelerine dair büyük değişimler gerçekleştirilmiştir (Sauchelli vd., 2014). Pencere değişimleri üzerine yapılan çalışmalara eleştirel görüş içeren Litti vd.'nin çalışmasında (2018) değiştirmek yerine var olan pencerelerin güçlendirmesinin yaşam döngüsündeki etkisi sorgulanmıştır. Çalışma sonuçlarında pencere değişimlerinin güçlendirme eylemleri kapsamında yıkıcı güce sahip

olduğu belirtilmiştir. Farklı fonksiyonlara sahip çalışma içeriklerinde (Vallati vd., 2022; Fard ve Nasiri, 2020; Gourlis ve Kovacic, 2016; Ciulla vd., 2016), cephedeki aydınlatma elemanlarındaki güçlendirme müdahale bulgularına göre var olan malzemelerdeki güçlendirme eylemlerinin, tek cam-çift cam gibi güçlendirmelerin yaşam döngüsü işletiminde enerji tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Akdeniz iklim kuşağında yer alan Sevilla'nın (Endülüs, İspanya) tarihi merkezinde yer alan kont yapıları vaka çalışması olarak ele alınmıştır. Çalışmada, bulunduğu iklim koşuluna uygun en iyi sonuç veren müdahale yöntemi, soğutma sistemi eklentisi ve gölgeleme elemanları olarak sunulmuştur (Caro ve Jose Sendra, 2020). Pencere üzerine müdahale yöntemlerinden biri olan gölgeleme elemanı kullanımı (Khalil vd., 2018; Marzouk vd., 2022), kontrollü güneş alımı ile yapı içi soğutma yüklerinde düşüş ve görsel konfor amaçlarına cevap vermektedir.

Sık kullanılan müdahale yöntemleri içerisinde yapı kabuğunda iç yüzey yalıtımı ve çatı yalıtımı yer almakta, kimi çalışmalarda 2 müdahale yöntemi birlikte ele alınmaktadır. Çalışmalar içerisinde yapı kabuğunun iç yüzeylerine uygulanan yalıtım gerekçesi olarak kültürel miras yapısındaki müdahale kısıtları sunulmaktadır. Jiang vd. (2022), farklı ısıl geçirgenlik değerine sahip 7 yalıtım malzemesi ile enerji tasarrufu, karbon emisyonu ve maliyet karşılaştırmaları paylaşılmıştır. Neredeyse Sıfır Enerji dönüşümünde tarihi yapı stokunun potansiyelini araştıran Ibrahim vd.(2021) aktif ve pasif müdahale içeriklerini birleşik değerlendirmekte, yalıtım içeriğini iç yüzey yalıtımı ve çatı yalıtımı olarak birlikte ele almaktadır. Yalıtım malzemesi olarak aerojelli iç duvar paneli kullanan, 2 farklı vaka üzerinde farklı panel kalınlıklarındaki test uygulamasını raporlayan Günther vd. (2020), uygulanan panelin iç ortam ısıl konforuna etkisini tartışmaktadır. Her iki vaka çalışmasında da pencere etrafları büyük özen gerektirmekte ve ısıl kaçışları önleyecek potansiyelde uygulama gerektirmektedir. Çalışma sonucunda aerogel bazlı ürünlerin ısı yalıtımında vaat edilen iyileştirmelerde etkin olduğu gözlenmiş, kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığında ve beraberinde ekonomik karşılığında iyileştirmeler sunduğu açıklanmıştır. Yapının dış yüzeyindeki orijinal mimari ifadelere gelebilecek hasarlardan dolayı duvar ve çatı iç yüzeylerine uygulanan yalıtım sıklığı daha yüksek görülmekte ve kültürel miras gerekçesi ile yöntem sunumu yapılmaktadır (Martins ve Carlos, 2014; Franco vd., 2015; Şahin vd., 2015; Kramer vd., 2015; Ascione vd., 2015; Ciulla vd., 2016; Mukhopadhyay vd., 2019; Joppolo vd., 2017; Bleich vd., 2016). İç yüzey yalıtım uygulaması gerçekleştirilen bir diğer çalışma olan Harrestrup ve Svendsen (2015), yağma

tuğla duvarlarının iç yüzeylerine yalıtım uygulaması gerçekleştirmiş, farklı seviyelerden başlatılan yalıtım uygulamasının sonuçları simülasyon programı üzerinden sorgulanmıştır. Aktarılan çıktılarına göre yalıtımın zeminden 200mm yukarıdan başlatılmasının tamamen yalıtılmış duvara kıyasla duvardan geçen ısı akışında artışa sebep olduğu gözlenmiş ve önerilecek tüm çözümlerin nem sorunu riski taşımaması gerektiği belirtilmiştir. Yapıların iç yüzeylerine uygulanan yalıtımın duvar yapılarında soğumaya neden olabileceği ve soğuma kaynaklı yoğuşma ve ısı köprü oluşumlarında artış gözlenebileceği belirtilmektedir. Bu noktada yapı yüzeyindeki nemin önlenmesi, nem tutucularının kullanılması, duvar yalıtım katman kurgusunun hassasiyetini ortaya çıkarmaktadır.

Sıklık sıralamasına göre en çok kullanımı gözlenen yöntemlerden biri de (10%) aktif sistemlerden fotovoltaiik panel kullanımıdır (PV). Kültürel miras değeri taşıyan yapılara uygulanacak güçlendirme kısıtlarından, müdahale dikkat gerekliliklerinden üst metinde bahsedilmektedir. Bu tutum, PV panel gibi yapıya eklenti sunan aktif sistemler için daha zorlayıcı olmaktadır. Tarihi yapılar ile güneş enerji sistemlerinin birleşiminde başarılı operasyon dikkati için hem tarihi yapıya ait sistemin iyi bilinmesi koruma alternatiflerine hakim olunması hem de güneş enerjisine ait sistemlerde yetkin olunması gerekmektedir. İki farklı disiplinin etkin birleşiminde disiplinler arası çalışmanın dikkatini sunan Lopez ve Frontini (2013) farklı disiplinlerin çalışmasında ve tarihi yapıya güneş enerjisi eklentisinde kullanılabilecek etap planlaması ve etabın her adımı için değerlendirme kriteri paylaşmaktadır. PV kullanımına örnek çalışmalardan Gonzalez-Prieto vd. (2021) Avrupa İklim Eylem (European Climate Action) planının 2030 hedeflerine uygun müdahale kurgusu oluşturmakta, bina kabuğunda yenileme, PV panel ve ısı pompası müdahalelerini kullanmaktadırlar. Referans senaryoya müdahale etki sonuçlarında, 2030 küresel ısınma potansiyelinde 40% düşüş sağlanırken bu senaryoya fotovoltaiik paneller ve ısı pompası uygulaması ile düşüşler sırasıyla 54% ve 61%'e yükselmektedir. Fotovoltaiik panel ve güneş kolektörü kullanımını birlikte sunan Ibrahim vd. (2021) çalışmalarında tarihi yapı stokunun “neredeyse sıfır enerjiye” dönüştürülmesini amaçlamakta ve olası planları sunmaktadır. Sibley ve Sibley'e ait çalışmada (2013) Kuzey Afrika'daki tarihi hamamlar örneklem kümesi kabul edilmektedir. 67 tarihi hamamdan oluşan küme içerisinde 2 test yapısı seçilmekte ve hamamlar genelinde zayıf doğal aydınlatma, doğal havalandırma ve yapı içi yetersiz aydınlatma gücü tespit edilmektedir. Bulgular doğrultusunda yetersiz aydınlatma

elemanları için güneş enerjili aydınlatma sistem önerisi sunulmaktadır. Habibi vd.'nin çalışmasında (2020) güçlendirme eyleminde mevcut yapının çatısına müdahale planlanmakta ve üç katmanlı bir tasarım konsepti önerilmektedir. En üst katmandan sıra ile PV panel, su yalıtımı ve ısı yalıtımı şeklindedir. Bu kurgu ile bir tarihi bina için su sızdırmaz, ısıl bütünlüğe sahip, enerji üreten bir yapı konsepti amaçlanmaktadır. Yunanistan Girit Doğa Tarihi Müzesi'nin enerji verimliliğini D seviyesinden A seviyesine yükseltme hedefi ile bileşik müdahale kurguları oluşturan Katsaparakakis vd (2017), yapı üzerinde bina kabuğu yalıtımı, yeşil çatı, yeni bölüm eklentisi ile birlikte çatıda fotovoltaik panel, küçük rüzgar türbinleri ve jeotermal ısı pompası aktif sistem müdahalelerinin etkilerini denetlemiştir. Önerilen tüm teknolojilerle bina enerji tasarrufu değeri 40%'tan 93%'e yükseltilmiştir. Tarihi yapılara yeni sistem eklentisinin koruma literatüründeki yerini sorgulayan çalışmalardan biri Nina-Cristina vd.'nin 2020 yılında sunduğu öneri projesidir. Koruma disiplinindeki kısıtlar ve tarihi yapılarda günceli takip tartışması üzerine çalışma içerisinde Romanya'nın Cluj ilçesindeki ahşap kilise çatısına güneş kiremit uygulaması önerilmektedir. Güneş kiremitleri, yapının mevcut çatı formuna uygun, mevcut malzeme görseline paralel, PV eklentili kiremit uygulaması sunmaktadır. Gremmelspacher vd. (2021) tarafından iki aşamalı yürütülen çalışmada tarihi yapıların çatılarına PV sistem entegrasyonunun, tarihi değer hassasiyeti ve çatı üzerindeki gölgeleme kaynaklı düşük ışınlam nedenleri ile yeterli verimliliği sağlamadığı savunulmaktadır. İlk aşama bulguları doğrultusunda PV sistemlerinin yapı çevresi peyzajına entegrasyon önerisi ele alınarak bu uygulamanın yapı enerji verimliliğinde daha artı değerler sağladığı paylaşılmaktadır. Literatürde de sıklıkla karşılaşılan tarihi yapı korunumuna ve orijinal yapı estetiğine negatif etki tartışması içerisinde yer alan araştırmacılardan Lingfors vd. (2019) yapı çatısına eklenen fotovoltaik panellerin görsel kirlilik oluşturmaması ve çatıdaki gölgeleme tehdidine karşın alınacak önlemleri araştırmaktadır. Araştırmadaki görsel kaygı, örneklem yapının çevresinde insan ölçeğinden değerlendirilmekte ve çevre alanlarda yürüyen insanların gözünden görüş alanları analiz edilmektedir. Bununla birlikte yapı çevresindeki gölgeleme elemanlarına göre panel yerleşim tartışmaları yapılmaktadır. Ele alınan kaygılar üzerine çalışma içerisinde getirilen çözüm tecrübeleri, bu planlamaların her yapı özelinde her yapının kendi fiziksel ve çevresel verilerine bağlı değerlendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Sık kullanım ölçeğine dahil olan son müdahale, tasarruflu aydınlatma düzenlemeleridir (Tablo 2.2.). Aydınlatma müdahale kullanımlarının farklı müdahale kurguları ile birlikte ele alındığı gözlenmektedir. Aydınlatmada düzenleme gerekliliği, yapı içi görsel konforun sağlanmasını ve beraberinde aydınlatma kaynaklı tüketilen enerjinin düşürülmesini amaçlamaktadır. Müdahale örnekleri; yapı üzerinde var olan ampullerin enerji verimli ampullerle değiştirilmesi ve ekipmanlarda yenileme (Katsaprakakis vd., 2017; Principi vd., 2016;), akkor lambaların kompakt floresan aydınlatmaya (Liu vd., 2017, s.5) ya da LED sistemlere dönüştürülmesi (Khalil vd., 2018; Santoli vd., 2016, Al-Habaibeh vd., 2022) yapı içi aydınlatmaların güneş enerjisi ile karşılanması (Sibley ve Sibley, 2013; Bellia vd., 2015) aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı (Cho vd., 2020) şeklindedir. Al-Habaibeh vd. (2022) yapı içi aydınlatma elemanlarındaki revizyonlara ek olarak hareket ve günışığı sensör kullanımlarının özellikle düzensiz kullanım söz konusu alanlar için etkili bir kontrol stratejisi olduğunu belirtmektedir. Bu şekilde, günışığından faydalanan saatlerde ya da yapının boş olduğu zamanlarda gereksiz tüketimin önüne geçilmesi, yapay aydınlatma kullanımında düşüş beklenmektedir. Khalil vd. (2018)'nin çalışmasında yapıda var olan floresan aydınlatmaların LED lambalar ile yenilenmesi sonucu aydınlatmanın sebep olduğu metrekare başına özgül güç yükü 30W/m²'den 15W/m²'ye düşmekte ve toplam azalma 25,3 kW olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 2.2.'de sunulan orta sıklıkta kullanımı ölçeklendirilen müdahale tipleri sıklık oranlarına göre bağlantılı müdahale tekniklerine göre aktarılacak, kullanım çeşitlilikleri literatür verileri ile örneklendirilecektir. Tarihi yapıların görsel kimliğine zarar verecek dış yalıtım uygulaması tüm çalışmalarda değerlendirmeye alınmış fakat kimlik korunumundan dolayı müdahale listesinden çıkarılmaktadır. Uygulanan yalıtım uygulamaları üst bölümde aktarıldığı gibi iç yalıtım olarak müdahale listesine eklenmektedir. Bunun dışında yapı dışında tespit edilen yalıtım örneklerinden Sauchelli vd. (2013) dış yalıtım uygulamasını sadece yapı çatısına uygulamakta bunun sebebi olarak da çatı kaplamalarının değişime uğraması ve özgün malzeme olmaması olarak göstermektedir. Fard ve Nasiri (2020) soğuk iklim bölgesinde yer alan örneklem yapıları için pencere tiplerinde değişim, sızdırmazlık önlemleri, buhar kesici müdahaleleri ile dış yalıtım ve iç yalıtım uygulamalarını birlikte ele almakta, çok kriterli karar verme aracı ile müdahale kurguları arasında değerlendirmeler yapmaktadır. 5 farklı dış yalıtım kalınlığı kullanılan çalışma sonucunda enerji uzmanları tarafından iç yalıtım müdahalelerinin dış

yalıtıma göre daha yüksek fayda fonksiyonu barındırdığı kararı paylaşılmakta ve çalışma sonucunda kurgulanan müdahale planına dış yalıtım uygulamaları dahil edilmemektedir. Şahin vd. (2015) tarihi yapı üzerine uygulanabilecek müdahale seçeneklerini enerji tasarrufu, ekonomi, yapıya ait tarihi değer, dayanıklılık, rutubet, iç ortam konforu olmak üzere 6 parametre çerçevesinde değerlendirmektedir. İncelenen müdahaleler içerisinde yapı cephesi için dış yalıtım, iç yalıtım ve zemin kat yalıtımı yer almaktadır. Yapı cephesine dış yalıtım uygulamaları için yüksek enerji tasarrufu, uzun ömürlü dayanıklılık, minimum rutubet oluşumu ve iç ortam konfor seviyesinde artış şeklinde pozitif etkiler sunulmakta bununla birlikte uygulamadaki yüksek maliyet ve yapı tarihi kimliğine ciddi hasar şeklinde negatif etkileri paylaşılmaktadır. Diğer yalıtım uygulamalarında aynı parametre değerlendirmeleri şu şekilde sunulmuştur. İç yalıtım için; enerji tasarrufunda yüksek fayda, uzun ömürlü dayanıklılık, iç ortam konforunda faydalı etki, uygulama maliyeti oldukça yüksek, nefes alabilir malzeme kullanımına açık ve yapının tarihi kimliğine zarar vermeyecek bir müdahale tekniği olarak özetlenmektedir. Zemin döşemesine uygulanacak yalıtım için toprak ile temas halindeki alanda oluşacak ısı kaybını azaltacağı, uzun ömürlü dayanıma sahip bir müdahale olacağı, iç ortam konforuna minör iyileştirme sağlayacağı belirtilmektedir. Aynı zamanda kurulumu için özel dikkat gerektirdiği, tarihi kimliğe zararın ancak profesyonel kurulum dikkati ile minimuma indirileceği ve bundan kaynaklı uygulamanın oldukça yüksek maliyete sebep olacağı belirtilmektedir. Ciulla vd.' ne (2016) çalışmada da tüm yalıtım uygulamaları değerlendirmeye alınmış ve tarihi yapı kimliği kaynaklı iç yüzey yalıtımı ve çatı yalıtımı uygulanabilirliği onaylanmaktadır. Zemin döşemesine uygulanacak yalıtım müdahalesi uygulama zorlukları ve uygulayabilecek uzman kısıtı dolayısıyla müdahale senaryolarına dahil edilmemiştir. Tadeu vd. (2015) dış duvar, çatı ve zemin döşemesi yalıtımlarının optimum malzeme ve yalıtım kalınlığı araştırmalarını, yaşam döngüsü analizlerini, uygulama çıktılarını paylaşmaktadır. Aynı vaka üzerinde farklı senaryolar halinde çalıştırılan alternatif yalıtım içerikleri sonucunda en düşük yaşam döngüsü etkilerinin aynı zamanda uygun maliyetli 50-120 mm arası yalıtım kalınlıkları ile sağlandığı, 80 mm'den fazla yalıtım kalınlıklarının enerji verimliliğini iyileştirmediği paylaşılmaktadır. Sunulan örnek çalışmalarda görüldüğü gibi yapının farklı noktalarında yalıtım uygulamalarına ulaşmakta ve tüm uygulamaların yapıya etkileri farklı parametrelerde değerlendirilmekte, en uygun yalıtım yönteminin hangi kalınlıkta daha iyi sonuçlar

sunacağı yapı özelinde deneme yöntemi ile araştırmacılar ve uzmanlar tarafından analiz edilmektedir.

Kültürel miras binalarında dış yalıtım uygulamasının uygun bulunmaması gün geçtikçe yapı üzerinde farklı bozulma ihtimallerini ortaya çıkarmaktadır. Yapının iç yüzeyine uygulanacak yalıtım müdahaleleri, iç duvar sıcaklık gradyanında ve iç mekan sıcaklık-nem profillerinde değişikliklere sebep olabilir bu durum duvarlarda boşluklara ve yoğuşmalara yol açabilmektedir. Uzun süreli yoğuşma durumu, yapı yüzeyindeki çatlaklarda biriken yoğuşma kaynaklı suyun tekrarlı donma ve çözülme döngüsüne sebep olmakta, malzeme bozulmalarını hızlandırmakta ve kritik yapı hasarlarını meydana getirmektedir. Uzun ömürlü tarihi yapı stoku üzerine planlanan enerji güçlendirme müdahalelerinde yapının benimsediği iklim düzeninin hızlı değişimi yapı üzerinde yeni güçsüzlüklere ve hasarlara sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle güçlendirme eylemleri yapısal, enerji ve yangın güvenliği çerçevelerini bütüncül kapsamalıdır (Chae ve Kim, 2022, s. 2-3). Bahsedilen tehditler, tarihi yapı enerji güçlendirme müdahaleleri kapsamına bina kabuğu güçlendirmesini, bina sızdırmazlık iyileştirmelerini ve nem kontrol sistemlerini dahil etmektedir. Cho vd.(2020), bir ofis ve bir müze binası üzerinde 5 farklı enerji verimliliği ölçüm paketi test etmekte, higrotermal ve enerji performans çıktılarını her yapı için ayrı analiz etmektedirler. Enerji performans analiz sonuçlarında, paketler içerisinde uygulanan hava sızdırmazlık iyileştirmelerinin yapı ısıtma enerji tüketimini azalttığı ve etkisinin özellikle kış aylarında doğrudan gözlemlendiği belirtilmektedir. Blechich vd. 'nin çalışmasında (2016) yapı üzerinden tespit edilen 1,0ach'lik bina sızdırmazlık değeri 0,3ach olarak revize edilmekte ve bina sızdırmazlığında iyileştirme müdahalesi uygulanmaktadır. Uygulanan değişim tek başına ısıtma enerji talebinde yaklaşık 15% düşüş sağlamaktadır. Ancak iyileştirilmiş hava sızdırmazlığı ile birlikte yaz döneminde düşen hava değişim oranları az miktarda olsa soğutma talebinde artışa sebep olmaktadır. Bu durum, yaz ayları kapsamında enerji talebinde artışı ya da mekanik bir havalandırma sistem ihtiyacını meydana getirmektedir. Sunulan örneklerde gözlemlendiği gibi bina güçlendirme eylemleri ve bu kapsama dahil bina kabuğu sızdırmazlık iyileştirmeleri örneklem yapı için tek ölçekli iyileştirme sunmamakta, farklı iklim koşullarında, farklı mevsim tüketimlerinde sürekli kontrol ve artı müdahale gerektirebilmektedir.

İncelenen literatür kapsamı, bina güçlendirme eylemleri ve sızdırmazlık müdahalelerinden orta düzey sıklıkta bahsedildiğini ve iyileştirme planlarına dahil

edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte uzun yıllar varlığını sürdüren bu nedenle strüktürel zayıflık gösteren ya da deprem sonrası hasar almış, zarar görmüş tarihi yapı stoku için bina güçlendirme eylemleri içerisinde sismik güçlendirme müdahaleleri de dahil olmaktadır. Via vd.'nin aktarımına göre (2019) en sık kullanılan duvar sağlamlaştırma teknikleri, harç enjeksiyonu ve duvarları güçlendirilmiş sıva ile kaplama yöntemleridir. Sismik güçlendirmeye bir diğer örnek çalışma olan Opher vd.'nin (2021) tarihi fırın yapısının güçlendirme projesinde değişen ve gelişen ihtiyaçlara uygun yeni kat önerisi ile birlikte yapı kabuğunda zayıflık tespit edilen noktalarda duvar yenilemelerini, kolon kirişlerin yeni malzemeler ile güçlendirmesini, toprak ile temas haldeki zeminde 3 katmanlı döşeme önerisini yapı kabuğu müdahalelerine dahil etmişlerdir.

Günümüzde de içerisinde bulunduğumuz, etkilerini gözlemlediğimiz iklim değişikliği, tarihi binaların iç ortam sıcaklığını etkileyerek sanat eserlerinin ve yapı kullanıcılarının ısı konforunu etkilemekte ve beraberinde enerji tüketiminde artışa sebep olmaktadır (Gonzalez vd., 2020). Tarihi yapılar içerisindeki ısı konforu genellikle split klima ve radyatörlü ısıtma sistemleri ile sağlanmaya çalışıldığını belirten Zhang vd. (2020) bu sistemlerin tarihi yapı bünyesinde verimsiz olduğunu, bu nedenle yapı içi oluşan ısı konforsuzluğun yapı elemanlarını, iç mekan objelerini ve aynı zamanda yapı kullanıcılarını olumsuz etkilediğini belirtmektedir. İnceledikleri örneklem yapının ısı konforu sağlamadığını belirten bir diğer çalışma Saraiva vd.'ne (2021) aittir. Coimbra Üniversitesi'ndeki tarihi bir binanın iç mekan ısı konfor izlemesi yapılan çalışmada, veri kayıt cihazları ile belirli günlerde iklim izlemeleri yapılmakta, yapı içerisindeki 6 kişi ile anket görüşmeleri gerçekleştirilmektedir. Uygulanan iki yöntem sonuçlarına göre yapı içi mekanların aşırı ısınma kaynaklı kullanıcı rahatsızlığına yol açtığı tespit edilmektedir. Yapı içerisinde yer alan serbest soğutma sistemlerinin yetersiz olması ile çalışma sonunda araştırmacılar örneklem yapı için tam kapasite HVAC sistem kuşusu önermektedir. Kullanıcı konforu ile birlikte yapı içi sergilenen eserlerin korunumunu amaçlayan Santoli vd. (2016), Roma'daki Galleria Borghese müzesinde yapı içi konforlu hava değişiminin, ısıtma ve soğutma yüklerindeki düşüşün, o günün güncel ihtiyaçlarına cevabın yeni HVAC sistem kurgusu ile sağlanabileceğini belirtmektedir. Yeni HVAC kurgusunun tarihi yapının orijinal kimliğini tehlikeye atma problemine karşın yapı içerisindeki kullanılmayan şömine bacaları içerisinde, yapı ile entegre müdahale tasarısı geliştirilmektedir. Paylaşılan örnek çalışmaların ortak noktası, yapı içerisindeki kullanıcı, eser, eşya, ekipman ve yapı malzemelerinin konforunda yapı fiziksel özelliklerine uygun

ısıtma, soğutma, havalandırma sistem gerekliliği ve buna yönelik HVAC sistem müdahale önerileri olduğu gözlenmektedir.

İncelenen enerji güçlendirme sonuçlarında, yapı üzerine planlanan aktif sistemlerin enerji tüketiminde pasif sistem kurgularına kıyasla daha etkin verimlilik sunduğu görülmekte, tarihi yapı üzerine uygulama yöntemleri tartışılmaktadır (Gonzalez-Prieto vd., 2021). Orta sıklık ölçeği içerisinde yer alan aktif sistem müdahalelerinden birisi de 6%'lık oran ile ısı pompası uygulamalarıdır. Isı pompası uygulamalarının tarihi yapı kısıtları için uygun çözümler sunduğunu savunan Massarotti vd. (2021) örneklem amacıyla sundukları simülasyon verilerinde, yapı içerisinde fosil yakıt kullanılan teknolojilere kıyasla 53% oranında karbondioksit emisyon düşüşü sağlandığını belirtmektedir. Elde edilen veriler ile tarihi yapı korunumunun ve enerji verimliliğinin yüksek ölçülerde sağlandığı savunulmaktadır. Tarihi yapıda ısı pompasının bodrum katta uygulanması ile yapıya ait görsel kaygının oluşmaması ve yerden ısıtma ile yapı içi ısı konforunda iyileştirme verileri sunan bir diğer çalışma Bughrara vd.'ne (2017) ait İzmir-Salepçioğlu Cami örneklemdir. Yapı içerisinde elektrikli (Lo Bosso vd., 2017; Alongi vd., 2015) ve jeotermal kaynaklı ısı pompası müdahalesi içeren çalışmalar (Katsaprakakis vd., 2017; Aste vd., 2016) ile birlikte kuyu suyu erişimi olmayan alanlar için öneri sunan Schibuola ve Scarpa (2016), Venedik'in tarihi merkezinde kurulu ve lagün suyunu kullanan ısı pompası örneklemini paylaşmaktadır. Tarihi yapı görsel ve kimlik tehditlerine karşın yapı ile entegre çözüm önerilerinin ısı pompası uygulamalarında çeşitlendiği incelenen örnek projelerde gözlenmektedir.

Üçüncü sıklık ölçeğinde incelenen çalışmalar içerisinde daha az kullanım tespit edilen müdahaleler yer almaktadır. Bu müdahalelerden biri pencerelere eklenen gölgeleme elemanları olup sık gözlenen müdahale içeriklerindeki pencerelere uygulanan revizyonlar bölümünde örnekleri (Blecich vd., 2016; Caro ve Sandra, 2020; Khalil vd., 2018) paylaşılmıştır. Mevcut uygulamalar, yapı konumu ve konum etkili iklim koşulları ile doğrudan bağlantılı olmakla birlikte pencerelerden yapı içerisine sızan güneş ışığı ile yapı içerisindeki sıcaklık değerlerinde ve buna bağlı soğutma taleplerinde artışı göstermektedir. Tespitler sonucu uygulanan gölgeleme elemanlarının çalışma çıktılarına pozitif etki sağladığı gözlenmektedir.

Caro ve Sandra (2020) araştırmalarında en etkin bireysel etki sağlayan yöntemler olarak gölgeleme elemanları ile birlikte geceleri sağlanan doğal havalandırma

müdahalelerini de sunmaktadır. Doğal havalandırma, kapalı mekan içerisindeki kullanılmış havanın dış ortamdaki hava ile sirkülasyonunu ifade etmektedir. Hava sirkülasyonu, hava sıcaklığı ile ilişkili basınç farkından kaynaklanmakta, yapının dış ortam ile bağlantılı açıklıklarından sağlanmaktadır (Darçın ve Balanlı, 2012, s.34). Modern ve yeni yapı tasarımlarında, basınç farkına bağlı hava hareketine uygun konumlarda ve farklı yüksekliklerde açıklıklar sağlanarak yapı içerisindeki doğal hava dolaşımına imkan sağlanmaktadır ancak mevcut yapılarda buna imkan veren açıklıkların bulunmaması halinde müdahale gereği gözetilmektedir. Tarihi yapılarda orijinal planda olmayan yeni pencere uygulamalarının uygun bulunmaması dolayısıyla mevcut fakat kullanılmayan çatı pencerelerinin aktivasyonu ve yapı içi mevcut pencerelerden güçlendirilmiş havalandırma eylemleri gibi müdahaleler dışında doğal havalandırma öneri çalışmaları (Blecich vd, 2016; Caro ve Sendra, 2020) bulunmamaktadır.

Tarihi yapıların günümüze adaptasyonunda sıklıkla tercih edilen işlev değişikliği ile yeni fonksiyonda kullanım devamlılığı, doğal havalandırma kadar doğal aydınlatma sorunlarını da ortaya çıkarmaktadır. Nocera vd.'nin (2018) çalışmalarında paylaştığı İtalya'nın Sirakuza kentinde yer alan tarihi binanın okul olarak kullanımı, konforsuz doğal aydınlatmaya örnek sunmaktadır. Okul binasında yer alan dersliklerden birinde gerçekleştirilen aydınlatma ölçüm verileri, pencere kenarında oturan öğrencilerde fazla gün ışığı kaynaklı kamaşma durumlarını, pencereden uzakta konumlanan öğrenciler için yetersiz aydınlatma değerlerini ortaya çıkarmakta ve sınıf genelinde homojen olmayan gün ışığı dağılımı ile konforsuz görsel niteliklerini paylaşmaktadır. Araştırmacılar örnek vaka üzerinde tarihi yapıya ileride dönüştürülebilir çözüm arayışları sonucu, pencerelerde yer alan cam malzemenin çift cam ile değiştirilmesini, sınıf içlerine yansıtıcı eleman kullanılan asma tavan eklentilerini önermekte ve pencereden gelen gün ışığının sınıf geneline asma tavan yansıtıcı iletimini benimsemektedir. Sunulan örnekteki gibi özellikle eğitim binalarında görsel konfor gerekliliği, ders içi öğrenci-öğretmen dikkatinin korunumunda ve aynı zamanda enerji verimliliğinde önemli bir unsurdur.

İncelenen literatür kapsamında, kullanımına pencere değişimi kadar fazla rastlanmasa da tarihi yapılarda ısı kaçışlarının gerçekleştiği ve buna yönelik ısı bütünlüğün sağlanmasında müdahale uygulanan bir diğer eleman kapılardır. Al-Habaibeh vd.'nin (2022) çalışmalarında kızılötesi termografik görüntülere yansıyan kapılardaki ısı kaçışlar, kapı donatılarında modifikasyonu, mevcut malzemede revizyonu gerekli

kılmaktadır. Proje güçlendirmesine yeni kapı montajını dahil eden ve ısı kayıplarında pozitif etkisini sunan bir diğer çalışma da Katsaprakakis vd.'ne (2017) aittir. Yeni malzeme kullanımı, yapı genelinde farklı elemanlar üzerinde farklı güçlendirme amaçlarına uygun örnekler sunmaktadır. Mosquera vd. (2017), su ve hava koşulları nedeniyle aşınma maruz kalan tarihi yapı malzemeleri için süperhidrofobik/oleofobik kaplama yapı malzemeleri geliştirmektedir. Bu kaplama malzemesinin tarihi yapıda kullanımı ile bina yüzeylerinde yoğuşma, küflenme, çürüme gibi kimyasal reaksiyonlara ya da dışarıdan gelen toz, toprak, tohum benzeri dış etkenlere karşı kendi kendini temizleme performansı sağlanacağını belirtmektedir. Yapı kabuğu iç yalıtım örneklerinin aktarıldığı bölümde Günther vd.'nin (2020) ürün gelişimini sunduğu bir diğer yeni malzeme aerogel panelli yalıtım uygulamasıdır. İç duvar yalıtımında yeni malzeme kullanımına diğer örnek, Wells ve Spewak'ın yağma duvarların iç yüzeyine uyguladığı açık hücreli spreycöpük uygulamasıdır. Yapı üzerinde yeni malzeme kullanımında örneklem vakanın bulunduğu lokasyona ait yerel malzeme tercihi, yerel kaynaklardan alınan, üretim, nakliye, inşaat, montaj kurgusunda düşük karbonlu malzeme seçimini ortaya çıkarmaktadır. Opher vd. (2021) Kanada'daki fırın binası restorasyonunda yenilenmiş malzemeler için yerel kaynakları kullanmakta, restorasyonu beşikten mezara kurgusunda bir yaşam döngü değerlendirmesi (LCA) sunmaktadır.

Çalışmalar içerisinde kullanımına daha az rastlanan yapı içi revizyonlarından sıva yenilemeleri, yapı yüzeyinde bulunan sıvalarda uzun yıllar kullanıma bağlı aşınma ve yer yer dökülme şeklinde gözlenmektedir. Sıva yüzeyi kalınlığı ve malzeme içeriği gereği yapı iç-dış ısı transferinde etkin bir rolü olmamakla birlikte bu elemanın daha etkin kullanılması yönünde çalışmalara gidilmektedir. Del Curto ve Cinieri (2020) yüksek ısı performans ve sınırlı kalınlıkta eşleşmeye olanaklı aerogel bazlı sıva kullanımının tarihi yapılara uygunluğunu ele almakta ve laboratuvar testlerine yönelik numune üretim kılavuzu önerisi paylaşmaktadır.

Yapı müdahaleleri içerisinde aktif sistem kapsamına giren, kullanımına sık rastlanılmamış müdahaleler, rüzgar türbini, güneş kolektörü ve yeşil çatı uygulamalarıdır. Üst bölümde fotovoltaik panel kullanımına örnek olarak sunulan Katsaprakakis vd.'ne ait çalışmada (2017) panel kullanımı ile birlikte güneş kolektörü, küçük rüzgar türbinleri ve yeşil çatı inşası projeye dahil edilmektedir. Güneş kolektörü ile fotovoltaik paneller güneş enerjisi kullanımı ile birbirine benzese de farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Fotovoltaik paneller güneşten elde ettiği ısı enerjisi elektriğe dönüştürürken güneş kolektörleri güneş ışınımını ısıya dönüştürmektedir. Güneş gibi bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar kullanımına örnek olarak Yunanistan Girit Tarihi Doğa Müzesi (Katsaprakakis vd., 2017) için sunulan küçük türbin tasarımları verilmektedir. Rüzgar türbinlerinin kullanımına dair az veri ulaşımı, tarihi yapı ile bütüncül ele alınma kısıtı ve yapının tarihi kimliği önüne geçilmeme amacı ile küçük tasarım amacının yeterli fayda-maliyete karşılık gelmemesi olarak yorumlanmaktadır.

Seyrek kullanım örnekleri sunulan müdahale içeriklerinden bu bölümde son olarak kontrollü kullanıcı varlığı müdahalesinden bahsedilmektedir. Tüm yapı fonksiyonlarına uygun olmayan ve sürdürülebilirliği konusunda net sonuçlara henüz ulaşamayan kullanıcı parametresinin yapı enerji tüketimindeki etkin rolü ispatlanmış (Franceschini ve Neves, 2022; D'Oca vd., 2014) ve bu ispata yönelik performans planlamaları günümüzde halen çalışılmaktadır. D'Oca vd.'nin konut binası üzerine yapmış olduğu çalışmada (2014) simülasyon modellerinde farklılaşan kullanıcı davranışlarının oluşturduğu farklı tüketim verileri ve buna bağlı değişen müdahale planlamaları sunulmakta ve çalışma sonunda programlara girilen kalıplaşmış kullanıcı parametre varsayımlarının çalışma sonuçlarını ciddi ölçüde yanılttığı belirtilmektedir. İnceledikleri tescilli konutta kullanıcı davranış değişikliğinin, fiziksel iyileştirmelerden çok daha fazla enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahip olduğunu belirten Ben ve Steemers (2014), ele alınan örneklem vaka içerisinde yaşayan kullanıcının iyi analiz gerekliliğini ve kullanıcının enerji tüketimine destek davranış değişikliği bilincinin sunulabileceğini belirtmektedir.

2.3. Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlarda Tarihi Yapılarda Enerji Performansı

Bu bölüm, Türkiye ve yurtdışında enerji verimliliği hedefleri doğrultusunda planlanan adımlarda tarihi yapı/kültürel miras dikkatine yönelik araştırma sonuçlarını sunmaktadır.

2.3.1. Ulusal mevzuatlarda

Türkiye’de, etkin enerji kullanımı, ekonomi üzerindeki enerji maliyet yükünün azaltılması ve çevre korunumu amaçları ile 2007 yılında 5627 numaralı Enerji Verimliliği Kanunu kabul edilmiştir. Kanun içerisinde tarihi yapılar için madde bulunmamaktadır. Mevcut yapılar için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, belge üzerinde bina enerji

ihtiyacı, yalıtım özellikleri, ısıtma ve soğutma sistem verimi, binanın enerji tüketim sınıfı gibi asgari bilgilerin yer alması gerekliliği belirtilmektedir (Enerji Verimliliği Kanunu, Madde 7/2/d, 2007). Kanun kabulünün ardından 2008 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe girmiş, binalarda verimli enerji kaynağı kullanımı ve enerji israfında düşüş hedeflenmiştir. Yönetmelik kapsamında, korunması gerekli kültür varlıkları detayı mevcuttur. Tescilli yapılarda enerji verimliliğinin artırılması hedefi, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşü doğrultusunda kurgulanacak müdahalelerin tarihi yapının fiziksel bütünlüğünü, dış görüntüsünü ve miras değerini etkilenmemesi dikkati ile belirtilmektedir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği-Madde 2/d, 2008).

2013 yılında gerçekleştiği revizyon ile bugün halen kullanılan versiyonuyla TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı, verimli enerji kullanımı amacıyla bina enerji performans kontrolünde kullanılan enerji hesap metodunu, yeni ve mevcut yapılara ait malzemelerin fiziksel özelliklerini, ısı iletkenliklerini, ısıtma yük hesaplarını sunmaktadır. Standart içerisindeki malzeme yelpazesi oldukça geniş olup hem yeni bina tasarımında hem de mevcut bina enerji performans kontrollerinde kullanılmaktadır. Tarihi yapılar için özel belirteçleri bulunmayan standart içerisinde verilen malzeme özellikleri ve içerik bilgileri, incelenen yapı özelinde yorum, deneme ve değerlendirme imkanı sunmaktadır (TS 825, 2013).

Türkiye’nin Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2023 yılı hedeflerinde enerji talebi, karbon emisyonu azaltımı ve sürdürülebilirlik planlarında mevcut binaların iyileştirmesine yönelik teşvik dikkati yer almasına rağmen tarihi binaları kapsayan bir dikkat bulunmamaktadır. Türkiye’de enerji verimli eylemlere yönelik mevcut yapı kapsamı mevzuat ve bildirilerde sıklıkla ele alınmasına rağmen tescil değeri taşıyan miras yapı stoğuna yönelik eylem içeriği, koruma kurulu kontrolünde ve miras değeri kısıtları kapsamında ifadeler ile belirtilmekte, detay aktarım içermemektedir.

2.3.2. Uluslararası mevzuatlarda

Uluslararası mevzuat ve çalışmalarındaki miras değeri taşıyan yapı ve alanlarda enerji verimli eylem içeriğine sahip örneklerden ilki, 2011 yılında yayınlanan ICOMOS Valletta Tarihi Kentlerin, Kasabaların ve Kentsel Alanların Korunması ve Yönetimi İlkeleri’dir (ICOMOS Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas, 2011). ICOMOS Valletta prensipleri içerisinde tarihi alanlar

için enerji verimliliğinde artırım ve çevre kirleticilerde azaltım amaçlanmaktadır. Enerji verimliliği için tarihi alanlarda gerçekleştirilecek her yeni binanın enerji verimli olması, kentsel yeşil alanların ve yeşil koridorların projelere dahil edilmesi belirtilmektedir. Yenilenemeyen kaynak tüketiminin en aza indirilmesi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm konularına teşvik, prensipler içerisinde baskın yer almaktadır (2011, s.15). 2012 yılında ICOMOS kapsamında ISCES – International Scientific Committee on Energy and Sustainability birimi kurulmuştur. Miras alanlarında enerji tasarrufu, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği gerekliliklerini dikkate alarak kültürel mirasın korunumunu ve yönetimini desteklemektedir. Türkiye, Uluslararası Enerji ve Sürdürülebilirlik Bilimsel Komitesi olarak çevrilen ISCES (2012) biriminin bir üyesidir.

Binaların enerji performansını artırmak için Avrupa Birliği, Binaların Enerji Direktifi (EPBD, 2010) ve Enerji Verimliliği Direktifi (2012) başlıklı direktifler yayınlamış ve bu direktiflerin güncel yıllarda revizyonlarını devam ettirmiştir. Avrupa 2050 hedeflerinin yayınlandığı Yeşil Anlaşması'nın (Green Deal) bir parçası olarak 2020 yılı Ekim ayında Yenileme Dalgasını (Renovation Wave) sunmuştur. 2050 yılına kadar karbonsuz bina stoğu hedefi çerçevesine kültürel miras yapıları da dahil edilmektedir. Tarihi yapıların ve alanların miras öncelikleri korunarak, enerji performansında iyileşme çözümlerine yeni yöntem arayışları ve test önerilerinin teşvik gerekliliği belirtilmektedir.

Avrupa Standartları içerisinde BS EN 16883 (BSI Standards Development, 2017) standardı, kültürel miras enerji performansı iyileştirmesinde bina ölçeği için kılavuz niteliği taşımaktadır. Bu standart, verimli enerji iyileştirmesinde söz konusu binanın gereksinimleri, müdahale seçimleri ve değerlendirmeleri için sistematik bir prosedür önermektedir. Binanın miras değerlerine uygun enerji performans artırımı için enerji verimliliği önlemlerinin nasıl belirleneceğine ilişkin yönlendirmeler sağlamaktadır. BS EN 16883:2017, bina sahipleri, ilgili yetkililer, koruma denetçileri ve profesyoneller için mevcut standartların tarihi bina kapsamındaki uygulaması için kılavuz görevi görmektedir.

ASHRAE Guideline 34, Energy Guideline for Historic Buildings (2019), tarihi binalarda enerji verimli müdahale uygulamalarına referans sunan bir diğer standarttır. 2019 yılında yayınlanan standart, pek çoğu enerji dikkati olmadan inşa edilen tarihi yapılar için bina kabuğu iyileştirmeleri, enerji sistem analizi, HVAC seçimi ve uygun aydınlatma tasarımına yönelik öneriler ve bilgilendirmeler sağlamaktadır. Sunulan tüm

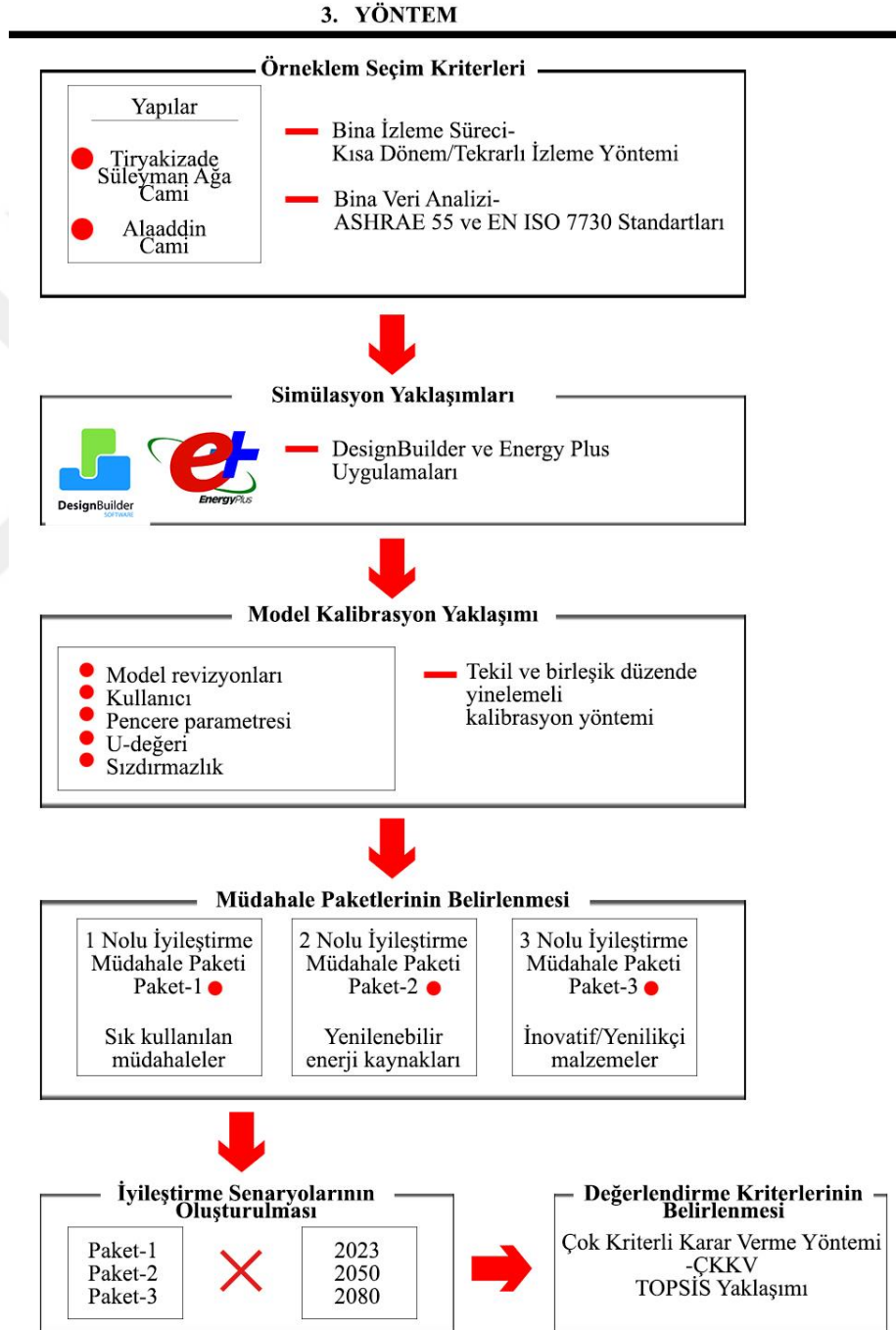
öneriler, tarihi değer taşıyan yapı karakterinin, bina bünyesindeki malzeme ve eserlerin bütünlüğünün korunumu dikkatindedir. Kılavuz 34, hazırlanacak projenin ekip kurulumu, bina ve enerji performans geçmişi, geçmiş yapı tüketim verilerinin toplanması ve okunması ile başlayarak tüm müdahale önerilerinin oluşturulmasına kadar detaylı prosedür sağlamakta, uygulama önerilerini adımlar halinde paylaşmaktadır.

2.4. Bölüm Sonucu

Kültürel miras yapılarında enerji performans iyileştirmesine dair literatür verileri, alan yazınındaki araştırmaların güncelliğini, mevcut tartışmaların ve çözüm denemelerinin önemini belgelemektedir. İçinde bulunulan yüksek enerji tüketimi ile beraberinde gelen iklim değişikliği tehdidi, mevcut yapıların ve kültürel miras binalarının sahip olduğu etki payını güçlendirmektedir. Enerji performans analizinde sık kullanıma sahip simülasyon uygulamaları, özellikle yapı üzerinde test ve analiz kısıtı barındıran kültürel miras yapıları ile çalışmada etkin bir potansiyel sunmaktadır. Gerçek yapıya minimum temas ile elde edilebilecek simülasyon modelleri, yapı üzerinden veri temini, elde edilen verilerin simülasyon modeline aktarımı ve tüm bunların sonucunda gerçek yapıya benzer çıktılar sunabilecek model eldesi, literatürdeki kaynaklar ile sağlanmıştır. Gerçek yapı ile kalibre simülasyon modelinin varlığı, yapı bünyesindeki fazla kaynak tüketimlerini, konfor dışı mekan çıktılarını, müdahale gerektiren mekan tespitlerini, uygulaması düşünülen/planlanan tüm müdahale denemelerini ve bu müdahaleler sonrası bina üzerindeki performans değişimlerini olanaklı kılmaktadır. Kurgulanan tüm müdahalelerin performansı ise literatür bölümünün son kısmında paylaşılan mevzuatlar kapsamında analiz edilebilmektedir. Müdahale sonrası yapı durumunun ulusal ve uluslararası mevzuatlardaki paylaşımlara uygunluğu ve mevzuat sınırlarına uyumu, simülasyon modeli üzerinde tasarlanan projelerin gerçek hayatta uygulanabilirliğini sağlamaktadır.

3. YÖNTEM

Mevcut tez birden fazla yöntem kurgusuna sahiptir (Şekil 3.1.). 6 alt bölümden oluşan yöntem şemasında her bir bölümde kullanılan yöntem ve bu bölüm sonunda elde edilen bulgular kademeli olarak aktarılmaktadır. Örneklem yapının belirlenmesi, iklim verilerinin analizi, simülasyon modelinin oluşturulması ve kalibrasyon süreçlerinde, bina üzerine yerleştirilmiş iklim veri toplama araçları ile sağlanan veriler kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Yöntem bölümüne ait akış şeması

Bina modellemesinde DesignBuilder simülasyon programı kullanılmakta, simülasyon programından elde edilen sonuçların güvenilirliği literatürde yer alan test yöntemleri ile kontrol edilmektedir. Kalibre model üzerine uygulanacak iyileştirme müdahalelerinde literatür kaynaklarında yer alan enerji performans iyileştirme müdahaleleri kullanılmakta, incelenen müdahaleler ile 3 farklı konsept müdahale paketi oluşturulmaktadır. Konsept iyileştirme paketlerinin, bugün ve gelecek iklim yıllarını temsil eden 3 ayrı yıl ile çaprazlanması ile 9 enerji iyileştirme senaryosu elde edilmektedir. Elde edilen 9 senaryonun enerji performans analizinde BS EN 16883 (BSI Standards Development, 2017) standardı içerisinde geçen değerlendirme ölçütleri kullanılmakta ve 5 kriterli analiz yürütülmektedir. Standart referansı ile belirlenen kriterlerde nicel veri analizi mevcut olup, nicel çıktılarda simülasyon programının sunduğu özet raporlar kullanılmaktadır.

Çalışmanın değerlendirme adımında Çok Kriterli Karar Verme metodunun TOPSIS yaklaşımı kullanılmaktadır. Alternatifli yürütülen enerji iyileştirme paketleri arasındaki karşılaştırma, TOPSIS yöntemi ile kurgulanan sayısal değerler ile yürütülmektedir. Senaryo değerlendirmeleri alternatif paketler ve ele alınan yıl iklimleri çerçevesinde gerçekleştirilmektedir.

3.1. Olası Örneklemelerin ve Örneklem Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi

Çalışmanın örneklem yapı kararında 2 farklı cami üzerinde ön çalışma yürütülmüş, 3 ay süresince iki yapı, aynı parametreler çerçevesinde izlenmiştir. Yapı kararında kullanılan yöntem, süreç içerisinde yapılar üzerinden toplanan verilerin karşılaştırmalı analizini içermektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Örneklem yapı karar aşamaları

3.1.1. Örneklem yapı seçim yöntemi

Ele alınan iki caminin yapı iç ortam ısı şartlarını ve yapı malzemelerinin iç-dış transferindeki rolünü anlamak ve incelemek adına camilere ait iç mekanlara veri kaydediciler (datalogger) yerleştirilmiş ve yapılar Mart-Nisan-Mayıs ayları süresince izlenmiştir. Planlanan izleme için kullanılan cihazlar TESTO 174H sıcaklık ve nem veri kaydedicileri ve HOBO UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedicileri şeklindedir (Şekil 3.3.). Ayrık nizam oturuma sahip camilerin tüm cephelerine yerleştirilen veri kaydedicilerin dağılımı, farklı davranış göstereceği düşünülen cemaat bölümü ve kadın mahfili bölümlerine dair metrekare hesabına göre planlanmıştır.

Camilerde 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 imamaları, dernek başkanları ve camide görev alan kişilere aktarılmıştır.



a. TESTO 174H

b. HOBO UX90-005

c. Cami içi cihaz yerleşim görseli

Şekil 3.3. Kullanılan veri kaydediciler (a, b) ve duvar yüzeyindeki görselleri (c)

Alaeddin Cami’de 9 adet, Tiryakizade Cami’de ise 3 adeti kafede, 9 adeti cami içerisinde olmak üzere toplamda 21 adet TESTO sıcaklık ve nem veri kaydedici bulunmaktadır. HOBO UX90-005 ışık kullanımı, doluluk ve kullanım süresi veri kaydedicileri için Alaeddin Cami içerisinde 4, Tiryakizade’de ise 5 nokta belirlenmiştir. İbadethanelere yerleştirilen 21 TESTO, 9 HOBO datalogger, 1 Mart 2022 tarihinden itibaren 10’ar dakikalık ritimlerde veri kaydına başlamıştır. Her 45 günün sonunda cihazlardaki veriler bilgisayara aktarılmıştır.

İç mekan hava kalitesi, ısı 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 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 (Ashrae Standart 55, 2013, 12). Çalışma kapsamında veri kaydediciler, tüm gün açık bulunan camilerde insan teması ve vandalizm tehditleri göz önüne alınarak 2,20 m yüksekliğine 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 alınmış, iki farklı kottaki sıcaklık ve nem değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 3.1.)

Tablo 3.1. *Fraklı kotlara asılan TESTO veri kaydedicilerin tarihlere göre değer karşılaştırmaları*
(E.Y.=Ekran Yok)

	Tarih	01.03.22		14.03.22		30.03.22		13.04.22		05.05.22	
	Yükseklik	1.1m	2.2m	1.1m	2.2m	1.1m	2.2m	1.1m	2.2m	1.1m	2.2m
TESTO Sıcaklık Verileri (°C)	T1	18.8	18.4	16.8	15.9	18.8	19.1	21.4	21.4	20.6	20.3
	T2	18.9	18.4	17.0	16.9	19.9	19.8	21.6	21.8	21.3	21.1
	T3	18.7	17.8	17.1	14.9	19.5	18.2	21.4	21.0	20.2	20.1
	T4	18.8	17.9	16.4	15.1	19.2	18.5	21.2	21.1	20.3	20.1
	T5	18.9	17.8	16.1	15.0	19.3	18.4	21.0	20.9	20.3	20.0
	T6	18.8	17.4	15.9	14.5	18.3	17.9	20.8	20.7	20.2	19.9
	T7	18.6	17.4	15.2	14.7	19.4	18.7	19.4	19.4	20.5	20.3
	T8	18.5	17.7	15.3	15.1	19.0	19.0	19.7	19.7	20.4	20.3
	T9	18.4	17.4	15.4	14.7	18.8	18.6	19.8	19.7	20.5	20.2
	T10	<u>18.1</u>	<u>16.3</u>	13.2	13.7	15.5	15.0	16.4	15.3	16.5	16.9
	T11	18.9	19.1	17.6	18.0	16.0	15.2	17.4	16.7	17.0	17.0
	T12	18.0	16.9	<u>16.1</u>	<u>14.0</u>	15.5	14.9	16.4	15.3	16.9	16.9
	T13	<u>17.7</u>	<u>15.8</u>	<u>14.4</u>	<u>12.1</u>	<u>18.4</u>	<u>15.3</u>	15.5	14.7	17.9	17.5
	T14	<u>18.1</u>	<u>15.7</u>	<u>12.4</u>	<u>12.0</u>	<u>17.0</u>	<u>15.2</u>	15.1	14.3	17.9	17.6
	T15	<u>18.2</u>	<u>15.9</u>	13.5	12.2	<u>17.2</u>	<u>15.4</u>	15.5	14.4	17.7	17.6
	T16	<u>18.1</u>	<u>15.7</u>	13.3	12.1	<u>17.2</u>	<u>15.4</u>	14.0	14.1	17.9	17.5
	T17	<u>18.1</u>	<u>15.7</u>	12.1	11.8	<u>18.9</u>	<u>15.2</u>	14.2	14.0	17.7	17.4
	T18	18.5	E.Y.	11.8	E.Y.	18.5	E.Y.	14.6	E.Y.	17.6	E.Y.
	T19	17.3	17.1	15.3	14.4	<u>18.7</u>	<u>15.7</u>	14.9	14.7	18.0	17.7
	T20	16.3	17.8	16.6	14.7	<u>16.4</u>	<u>14.1</u>	14.7	13.1	17.4	17.0
	T21	19.2	17.0	15.8	14.2	17.1	15.6	15.2	14.7	17.7	17.7

Tablo 3.1., beş haftaya ait farklı kotlara denk gelen değerlerin karşılaştırmalı verisini sunmaktadır. Sunulan tabloda iki yükseklik arası sıcaklık farkının fazla olduğu cihaz ölçümleri altı çizgili olarak ifadelendirilmiştir. T13-T20 cihazlarında sıklıkla rastlanan bu yüksek farkın araştırılması yapılmakta ve işaretlenen cihazların kafeterya katı üzerindeki harim ve son cemaat bölümlerinde yer aldığı gözlenmektedir (Tablo 4.2.). Aynı konumdaki cihazların bu ortak davranışı, kafeteryanın Ramazan ayı kaynaklı kapalı olduğu 2 Nisan-5 Mayıs tarihleri arasında gözlenmemektedir. Aynı konumda yer alması ve kafeterya işletiminin etkili olması tespiti, belirlenen yüksek sıcaklık farkında kafeterya ısıtma sistemini kaynak haline getirmekte ve alt kota yerleştirilen cihazların daha yüksek sıcaklık değeri göstermesini desteklemektedir. İki kot arası çıkan farklar dolayısıyla, tez

içerisinde, simülasyona aktarılan yerinde ölçülmüş iklim verileri 1,10 ve 2,20 kotlarından toplanan sıcaklık değerlerinin ortalamasına göre oluşturulmuştur.

3.1.2. İncelenen yapıların tanıtımı

Eskişehir'in Odunpazarı İlçesi sınırları içerisinde yer alan iki tarihi cami arasında 250 m.'lik mesafe bulunmaktadır (Şekil 3.4.). Kendi adını taşıyan parkın içerisinde yer alan Alaeddin Cami, Eskişehir'in bilinen ilk camisidir. Ne zaman ve kim tarafından yapıldığına dair net bilgiye ulaşılamayan caminin minaresi üzerinde yer alan kitabesi 1268 yılına aittir (Aydın, 2017, s.48). Yakın lokasyonlarda yer alan Tiryakizade Süleyman Ağa cami ise adını aldığı Tiryakizade Süleyman Ağa tarafından 1778 yılında yaptırılmıştır.

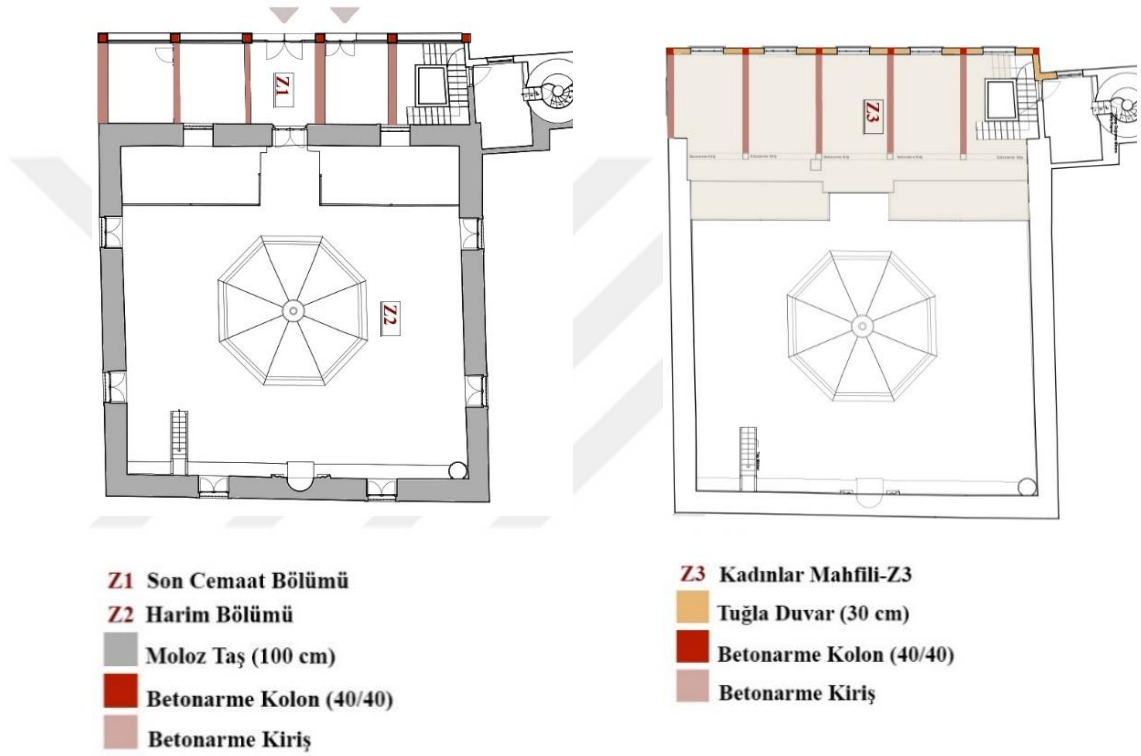


Şekil 3.4. Ölçümleri yapılan iki caminin lokasyon gösterimi

3.1.2.1. Alaeddin Cami

Eskişehir'in bilinen ilk camisi olan Alaeddin cami, 19.yy.'ın son çeyreğinde çatısı toprak altında harap halde bulunmuş ve onarılması için halk büyük çabalar göstermiş, harap haldeki cami büyük restorasyonlar ve onarımlar geçirmiştir (Aydın, 2017, s.59). Müdahaleler sonrası özgünlüğünü kaybettiği belirtilen cami, Eskişehir için halen tarihi kimliğini korumakta ve gün içerisinde çok sayıda cemaate ve ziyaretçiye ev sahipliği yapmaktadır. 410 m² alana sahip olan cami, kuzey-güney doğrultusunda, dört cephesi açık, moloz taş ve tuğla ile inşa edilmiştir. Harim ve son cemaat mahallerinden oluşan

caminin son cemaat bölümü 1951 yılına ait onarımda müdahale geçirmiş, mermer direklerle taşınan bölüm betonarme taşıyıcıya dönüştürülmüştür (Aydın, 2017, s.50) (Şekli 3.6.a, Şekil 3.6.b). Restorasyon kararları sonrası kullanıma açılan camide yığma moloz taş, yığma kesme taş (özgün minare kaidesinde), betonarme taşıyıcı sistemi (son cemaat) ve tuğla duvar sistemleri ile birlikte karma yapım sistemine sahiptir (Şekil 3.5.). Günümüzde son cemaat bölümüne ait kuzey ve batı cephesi betonarme kolonlar arası boydan cam ile kapatılmış bir alandan oluşmaktadır (Şekil 3.6.c, Şekil 3.6.d).



a. Alaeddin Cami Zemin Kat Planı

b. Alaeddin Cami Kadın Mahfili Planı

Şekil 3.5. Eskişehir Alaeddin Cami yapı malzemeleri

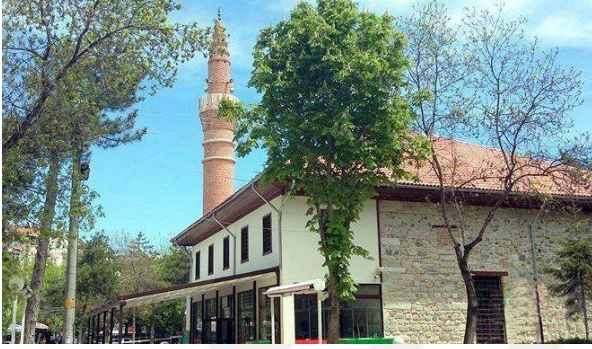
Caminin kadın ve erkek girişi, zemin katı cam ile örtülmüş kuzey cepheden sağlanmaktadır (Şekil 3.6.c, Şekil 3.6.d). Caminin güney ve doğu cephelerinde ikişer pencere bulunmakta olup, batı cephesinde bir tanesi kadınlar mahfiline açılan toplamda üç pencere bulunmaktadır. Kadınlar mahfili, kuzey cephede yer almakta, doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır. Betonarme kolon-kiriş üstü alttan kaplamalı ahşap tavana sahiptir (Aydın, 2017, s.50).



a. Restorasyon öncesi perspektif



b. Restorasyon öncesi kuzey cephesi



c. Restorasyon sonrası perspektif



d. Restorasyon sonrası kuzey cephesi

Görsel Kaynak: Türkiye Kültür Portalı/Alaeddin Cami-Eskişehir

Şekil 3.6. Alaeddin Cami son dönem restorasyon öncesi (a,b) ve sonrası (c,d) görüntüleri

3.1.2.2. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami

2013 yılında Eskişehir Türk Dünyası Kültür Başkentliği Ajansı (TDKB) tarafından Kalıcı Eserler projeleri kapsamında restorasyon geçiren Tiryakizade Hasan Paşa Cami, restorasyon sonrası isim değişimine uğramış ve Tiryakizade Süleyman Ağa Cami olarak yenilenmiştir. Caminin yapım yılına ve yaptıran kişiye dair farklı kaynaklarda farklı bilgiler yer almaktadır. Eskişehir Vakıflar Genel Müdürlüğü'nden alınan arşiv belgesi verilerine göre cami, 1778 yılında Tiryakizade Süleyman Ağa tarafından yaptırılmış fakat caminin minaresi üzerindeki kitabede minarenin yapım tarihi 1783 yılı olarak kaydedilmiştir. Süleyman Ağa'nın vefatı sonrası çocukları tarafından caminin yapılışından 5 yıl sonra ikinci minarenin yaptırıldığı ve kitabe üzerindeki yıl farklılığının bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

1909 yılında tamir ve bakıma muhtaç hale gelmiş cami için restorasyon kararı alınmış ve caminin temelden itibaren yenilemesi ile bugün ziyaret edilen cami formuna getirilmiştir (Şekil 3.7.). Altı adet işyeri mekanı bulunan caminin zemin katı, 2013 yılında

geçirdiği restorasyonda tek mekan haline getirilmiş ve bugün işlevine devam eden yeme-içme fonksiyonu verilmiştir.



Şekil 3.7. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 1900'lü yıllara ait geçmiş görseli

Yapımında moloz taş kullanılan caminin 2013 yılı restorasyonunda cephesindeki sıvalar raspanmış (Şekil 3.8.c) ve taş malzeme açığa çıkarılmıştır. Restorasyon öncesi sıva üstü yeşil boya kaplı cephe (Şekil 3.8.a), yapı malzemesinin belirgin hale geldiği bir görünüşe sahip olmuştur (Şekil 3.8.b).



a. Raspa öncesi cami cephesi



b. Raspa sonrası cami cephesi

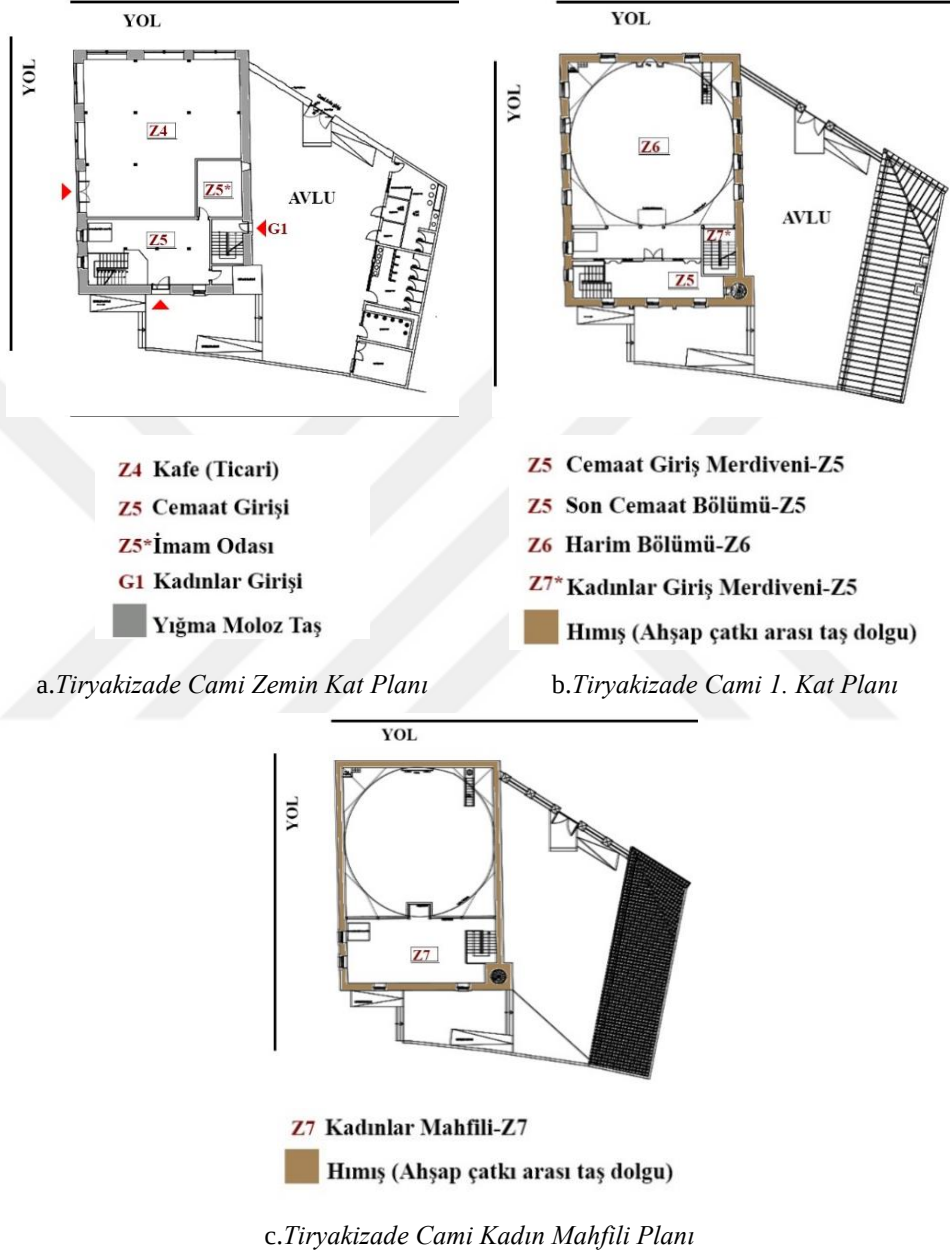


c. Raspa işlemi



Şekil 3.8. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 2013 yılı restorasyonu raspa işlemi

Ayrık nizam olarak planlanmış yapının Güney ve Doğu cepheleri trafiğe açık iki farklı caddeye bakmaktadır. Odunpazarı'nın merkezinde yer alan caminin cephe aldığı caddeler semtin girişindeki en işlek caddelerindendir. Kendi parseli içerisinde batı cephesine bakan bir avluya sahiptir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami kat planları

Caminin zemin kat doğu ve güney cephelerinde Tiryakizade Kırathanesi'ne ait pencereler bulunmaktadır. Kafenin girişi doğu cephesinden, caminin cemaat girişi zemin kat kuzey cephesinden ve kadınlar girişi batı cephesindeki avlu tarafından sağlanmaktadır (Şekil 3.9.a). Zemin katta kafe bölümü ile birlikte camiye ait girişler bulunmakta olup üst

katta son cemaat ve harim bölümü yer almaktadır. Kuzey cepheye denk gelen kadın mahfili 74m²'lik alana sahiptir. Caminin zemin katı yığma moloz taş, üst katlar ise hımsı sistem arasına taş donatı şeklinde kurgulanmıştır. Hımsı, 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 yapım sistemi, üst katlarda hımsı yapım tekniği kullanılmıştır (Şekil 3.9.) (Tiryakizade rölöve ve restorasyon raporu, t.y.).

Alaeddin caminin ana cemaate ait harim bölümü 235.80 m² iken Tiryakizade caminin harim bölümü 219.75 m²'dir. Toplam yapı metre kareleri kıyasında Tiryakizade 597, Alaeddin 410 metrekare hesaplanmaktadır fakat iki caminin de cami fonksiyonuna ait metrekareleri benzerlik taşımaktadır (Tablo 3.2.). İki caminin de son cemaat bölümleri ısıtılmaktadır. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar dikkate alınarak sıcaklık-nem veri kaydedicileri planlanmıştır. Benzer metrekarelere sahip yakın lokasyonlarda yer alan camilerin ısıtma sistemleri farklılık göstermektedir. Alaeddin Camii'de halı altı ısıtma sistemi kullanılmakta iken Tiryakizade Camii'de halı altı planlanan sistem 2014 yılında tadilat geçirmiş ve radyatör ısıtmaya dönüştürülmüştür.

Tablo 3.2. Cami ve bölümlerine ait metrekare bilgisi

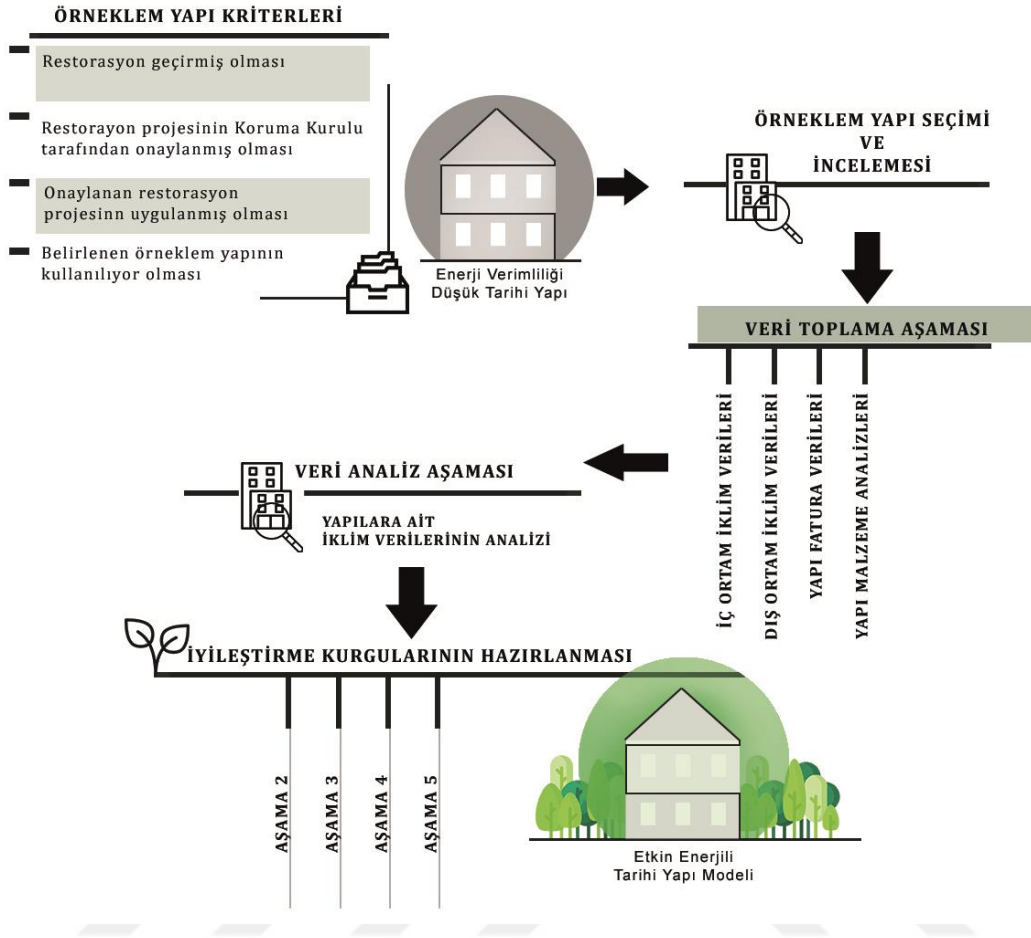
Alaeddin Cami		m ²	Tiryakizade Cami		m ²
Zemin Kat	Kadınlar Girişi	19.55	Zemin Kat	Kafe	163.80
	Son Cemaat Bölümü	25.50		Kadınlar Girişi	10.45
	Harim Bölümü	235.80		Cemaat Girişi	59.65
	İmam Odası	12.10		İmam Odası	19.05
Kadınlar Mahfili		95.50	Birinci Kat	Harim Bölümü	219.75
Sirkülasyon Alanı				Kadınlar Giriş Merdiveni	10.45
				Son Cemaat Bölümü	27.80
				Kadınlar Mahfili	74.00
			Sirkülasyon Alanı		
Toplam		410m ²			597 m ²

3.2. Bina İzleme Sürecinin Planlanması

Kültürel sürdürülebilirlik bakımından varlıklarının devamlılığı önemli olan tarihi yapıların strüktürel bütünlüğünün korunması bakımından restorasyon müdahaleleri zorunludur. Mevcut yapıların servis ömrü kapsamında strüktürel ve ısıl performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, gerekli iyileştirmelerin tespiti ve bilinçli uygulamasına

olanak tanımakta böylelikle tarihi yapılarda verimlilik olanaklı hale gelmektedir (Meoni vd., 2022, s.1-2). Modern yapılarda kullanılan servis sistemlerin 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 (Lucero-Gomez, 2020, s.1).

Mevcut tezdeki bina izleme süreci beş etap olarak planlanmıştır (Şekil 3.10.). İlk etap, örneklem yapı kararını içermekte ve bu karar ele alınan camilerin iklim parametre analizlerine yönelik yürütülmektedir. İkinci etapta, belirlenen örneklem yapıya ait geçmiş rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri, arşiv belgeleri, evrak, fotoğraf, kullanıcı görüşmeleri gibi sözlü yazılı tüm veriler, yapı kullanımına yönelik yapı tüketim verileri, iklim ölçümleri, yapı fiziksel özellikleri için gerekli 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 planlaması 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. Bu etapta, 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 değerlendirilmiş, örneklem yapıya ait analizler tamamlanmıştır (Sarıaydın vd., 2024). Elde edilen veri ve veri analizlerine göre yapı simülasyon modeli oluşturulması ve model kalibrasyonunun gerekli ölçütlere uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Dördüncü etapta hazır olan yapı modeli üzerine iyileştirme müdahalelerinin tasarıları oluşturulmakta ve birden fazla müdahale içeren iyileştirme senaryolarının oluşumu sağlanmaktadır. Bu etapta her bir senaryo model üzerinde denenerek müdahalelerin yapıya etkisi değerlendirilmektedir. Son etap olan beşinci etap, tüm senaryoların bütüncül değerlendirmesini içermektedir. Senaryoların yapı üzerindeki enerji ve maliyet etkilerinin değerlendirmesi sonucu en uygun müdahale kurgularının kararları son etabı içermektedir.



Şekil 3.10. Çalışma yöntemi akış şeması

Örneklem yapı kararı ile birlikte Tiryakızade Süleyman Ağa Cami üzerinde asılı cihazların gerekli incelemeleri yapılmış, cihaz içleri boşaltılmış ve uzun dönem ölçüm süreci başlatılmıştır. Gerekli süreç cami imamı, dernek başkanı ve çalışanları ile paylaşılmış yeni dönem planlamaları yapılmıştır.

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 kullanılabilen, malzeme, mukavemet ve iç ortam koşullarına yönelik değerlendirmeler yapılabilir (Günaydın vd., 2022). 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 (Meoni vd., 2022, s.1). Ortam koşulları ve malzeme fiziksel özellikleri bilinen bir tarihi yapı için simülasyon modellemesi yöntemi ile iyileştirme müdahaleleri test

edilebilmekte ve iyileştirme sonucunda enerji performansındaki değişimler tartışılabilmektedir.

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 (Arşan ve Sökmen, 2010; Coelho vd., 2018; Al-Saadi, 2021; Özbaltı vd., 2021) diğer çalışmalar farklı mevsimlerde yürütülen kısa dönem/tekrarlı izleme çalışmaları (Penna vd., 2014; Penna vd., 2015; Ahmed vd., 2017; Sözer ve Sami Shams, 2019; Tüysüz ve Sözer, 2020;) 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 (Coelho vd., 2018; Sciarpi vd., 2020; Vella vd., 2020; Cho vd., 2022).

Mevcut tez çalışmasında 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 (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. İzlenen enerji performans parametreleri ve izleme sıklığı (Güçyeter ve Günaydın'dan (2012) uyarlanmıştır.)

İzlemeye tabi tutulan enerji performans parametreleri	İzleme aralığı	Kullanılan cihaz
İç Mekan Sıcaklık (°C)	10 dk.	TESTO 174H Sıcaklık ve Nem Veri Kaydedici
İç Mekan Bağıl Nem (%)		
Kullanıcı varlığı (%)	1 dk.	HOB0 UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedici
Aydınlatma açık/kapalı (%)		
Gaz tüketimi (kWh)	1 ay	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 dk	Davis Vantage Pro2 Mikroklimatik Hava İstasyonu
Dış Bağıl nem (%)		
Toplam yatay güneş ışıması (W/m ²)		
Rüzgâr hızı (m/s)		
Rüzgâr yönü (°)		
Bulutluluk faktörü (0–1)	1 saat	Meteoroloji Verisi

Planlanan yapı içi izlemesinde kullanılan cihazlar TESTO 174H ve HOBO UX90-005 veri kaydedicileridir (Tablo 3.3.). Yapıdaki gaz tüketim verisi için cami ve kafeye ait aylık faturalar temin edilmiş ve performans analizinde kullanılmıştır. Ayrık nizam oturuma 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, metrekaresi 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 ışınımı (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 Tablo 3.3.'te belirtilmiştir.

Toplamda 617,00 m² kullanım alanına sahip (Tablo 3.4.) 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 3.4.).

Tablo 3.4. Yapı bölümlerine ait metrekaresi bilgileri ve asılmış cihaz sayıları

		Cihaz sayısı
Zemin Kat	Kafeterya	3 TESTO 174H-2 HOBO UX90-005
	Kadınlar Girişi	
	Cemaat Girişi	
	İmam Odası	
	Enerji Odası	
Birinci Kat	Harim Bölümü	7 TESTO 174H -2 HOBO UX90-005
	Kadınlar Giriş Merdiveni	
	Son Cemaat Bölümü	1 TESTO174H

Tablo 3.4. (Devam) Yapı bölümlerine ait metrekaşe bilgileri ve asılmış cihaz sayıları

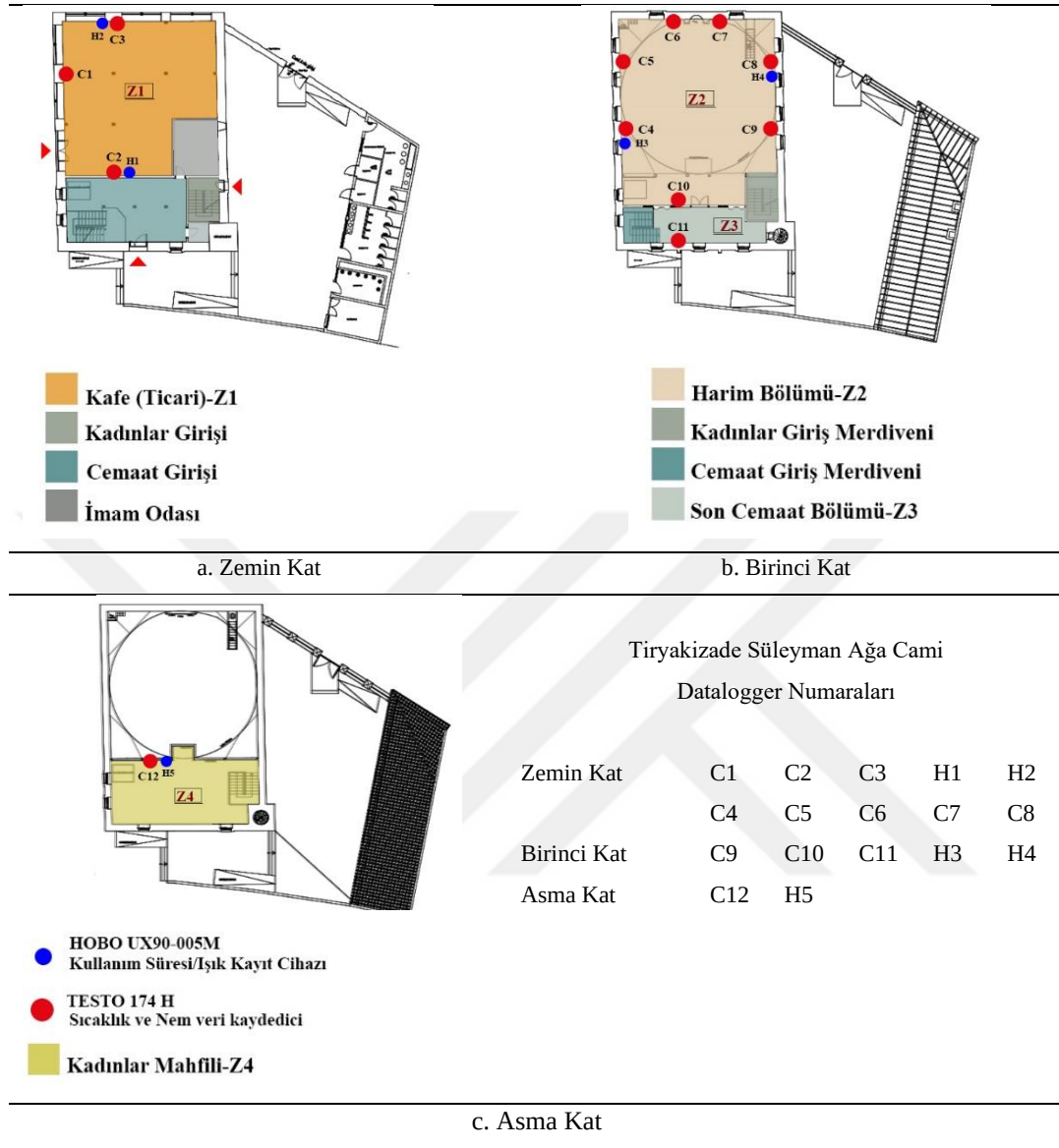
Asma Kat	Kadınlar Mahfili	1 TESTO 174H -1 HOB0 UX90-005
	Sirkülasyon Alanı	
Toplam	617,00 m ²	12 TESTO 174H - 5 HOB0 UX90-005

İç ortam hava kalitesi, ısı 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 okumalarında dikkate alınan seviyeler, ayak bileği, bel ve baş seviyeleridir. Oturanlardan oluşan grup için ölçüm alınması gereken yükseklik 0,60m iken ayakta duran kullanıcı çevresinde ölçüm alınması gereken yükseklik ise 1,10m olarak belirlenmiştir (ASHRAE Standart 55, 2017, 16). Çalışma kapsamında veri kaydediciler, tüm gün açık bulunan camilerde insan teması ve hasar gibi risklere karşı 2,20 m yüksekliğe asılmıştır. Standartta belirtilen 1,10m yüksekliğinin aşılması üzerine oluşabilecek hata payı göz önünde alınarak, haftada bir 2,20m 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, iki yüksekliğe ait verilerin ortalaması 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 HOB0 UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma (on/off) kaydedici (H) için adet ve konumlar Tablo 3.4. ve Tablo 3.5.'te görülmektedir. Örneklem yapının netleşmesi ile birlikte Tiryakizade Süleyman Ağa Cami üzerinde asılı cihazların cihaz dizimleri ve numaraları güncellenmiş, Tablo 3.5.'te paylaşılmıştır.

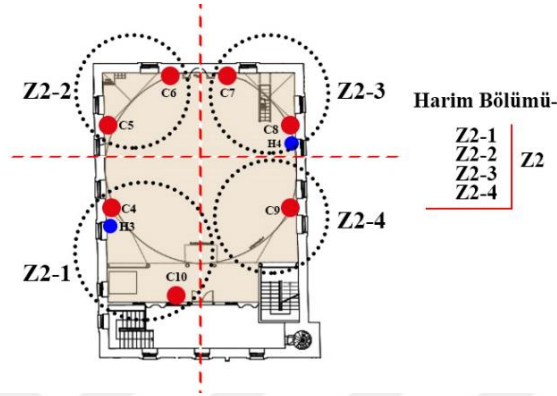
Aynı yapı malzemesi ile oluşan farklı katlardaki fonksiyonların dış ortam sıcaklığına karşı davranışını da araştırarak biçimde yerleştirilen bu veri kaydediciler için izleme süreci tüm mekanlar için senkronize olarak yürütülmüş olup, bulgular kısmında aktarılan veriler aynı yöntem çerçevesinde ele alınmış ve yorumlanmıştır.

Tablo 3.5. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları



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 içerisine 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 davranışları incelenmiştir. Ayrık nizam oturuma sahip olan caminin dört farklı yönü baz alınarak tanımlanan zonlar ve bu zonlardaki veri kaydediciler Şekil

3.11.'de 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 mekanı içerisinde bulunan 7 cihaz, ortalamaları alınarak 4'e düşürülmüş (Z2-1, Z2-2,Z2-3,Z2-4) ve harim bölümünde oluşturulan her bir zonü temsil eden bir ölçüm elde edilmiştir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Harim bölümünden elde edilen zonlar ve zonlara dahil olan kayıt cihazları

Kısa dönem/tekrarlı periyodlarda ilerletilen yapı izleme planı, Mart, Nisan, Mayıs ve Ağustos aylarında Tablo 3.6.'da belirtilmiş ölçüm sürelerince yürütülmüştür. Yapı içerisinde aktif soğutma sistemi bulunmamakta 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 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 (Abushakra ve Paulus, 2016, s.981). Çalışma içerisindeki ölçüm takvimine, Abushakra ve Paulus'un belirttiği serbest dönem disiplini dahil edilmiştir. 3. bölge derece gün illeri içerisinde olan Eskişehir ili (TS 825, 2009, s.34) hava şartları dolayısıyla Abushakra ve Paulus'un belirttiği serbest dönemler çalışma içerisinde revize edilmiştir. Yapı içerisinde ısıtma ve soğutma sisteminin çalışmadığı aylar gözetilerek

araştırma içerisinde Mayıs ve Ağustos ayları serbest dönem olarak belirlenmiş ve yerinde ölçümler devam ettirilmiştir (Tablo 3.6.).

Tablo 3.6. *Yapı izleme periyodları*

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

3.3. İzleme Verisi Analiz Yaklaşımları

Değişen ve gelişen teknoloji ile her dönem güncelliğini koruyan ısı konfor ve iç hava kalitesi alanında yapılan çalışmalar, bir mekânı kullanıcılar için konforlu hale getirmeyi, uygun iç hava kalitesinin sağlanmasını, kullanıcı sağlığını, verimliliğini ve üretkenliğini kabul edilebilir düzeylere taşımayı amaçlamaktadır (Atmaca ve Yiğit, 2009, s. 543). Yapının optimum konfor koşullarını sağlamasında etkin parametrelerden olan ısı konfor (Şenkal Sezer, 2015, s. 11-12), kişilerin ısı çevre ile ilgili memnuniyeti olarak tanımlanmaktadır. Kestirimi karmaşık ve sübjektif değerlendirmelere dayalı olsa da (Ganesh ve ark., 2021, s.1) ısı konforunun hesaplamasında kabul edilebilir aralıklar ulusal ve uluslararası standartlarca belirlenmiş olup konfor koşulları sıcaklık (°C), bağıl nem (%), hava hızı (m/s) gibi değişkenlere göre değerlendirilmektedir. Bu tez çalışması içerisinde, iklim veri kayıt cihazları ile elde edilen verilerin analizi için ASHRAE Standart 55, EN ISO 7730 standartları kullanılmaktadır.

ASHRAE 55 Standardında (2017), ortamın kullanıcılar için ısı olarak yeterli düzeyde konforlu hale getirilmesinde belirli çevresel ve kişisel faktörler ele alınmaktadır. Çevresel faktörler sıcaklık, ışıma, nem ve hava hızı; kişisel faktörler aktivite, metabolik hız ve giyimdir. ASHRAE 55 Standardında tipik uygulamalar için basitleştirilmiş grafik metodu (ASHRAE, 2017, s.15), daha geniş uygulamalar için ise ısı denge metoduna bağlı olarak bilgisayar programları bulunmaktadır (Atmaca ve Yiğit, 2009, s. 544). “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 (ASHRAE, 2017, s.44).

Isıl konfor değerlendirmesi içeren diğer standart EN ISO 7730 (2005), ortamda bulunan kişilerin bireysel ve kollektif olarak ısı algısını ifade eden ve Fanger (1973) tarafından ortaya koyulan PMV (kişisel ortalama oy) ve PPD (n 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 3.7.'deki gibi belirtilmiştir (ASHRAE 55, 2017, s. 9).

Tablo 3.7. ASHRAE 55 kılavuzunda yer alan grafik metodu uygulanabilirliği için gerekli aralıklar

Metabolik oran	$1.0 < M < 1.3$
Kıyafet yalıtımı	$0.5 < I_{cl} < 1.0$

Gerekli şartlara (Tablo 3.7.) uyum sonucu paylaşılan grafik metoduna göre (ASHRAE 55, s.10), 0.5 clo ile belirtilen yaz dönemi(soğutma) için 23.5°C - 28.0°C , 1.0 clo ile belirtilen kiş dönemi(ısıtma) için ise 19.0°C - 26.5°C ısı konfor aralıkları verilmektedir. ISO 7730'da yaz döneminde (soğutma) operatif sıcaklık $24.5^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, kiş döneminde (ısıtma) 19.0°C - 26.0°C aralığı kabul edilir düzeylerdir. Yaz ve kiş ayları için kabul edilir bağıl nem 30%-70% aralığında önerilmektedir (ISO 7730, 2005).

3.4. Simülasyon Yaklaşımı

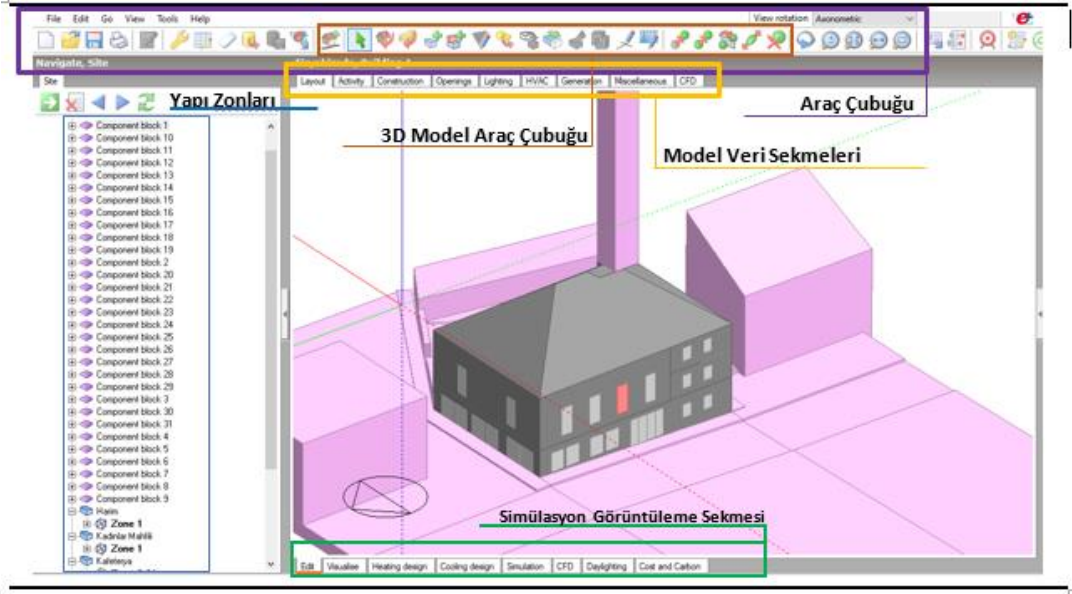
Bina okumaları ve yaşam döngüsüne dair karar vermeyi desteklemek amacıyla kullanılan bina performans simülasyonları, sürdürülebilir hedefler içerisinde benimsenen gl yöntemlerdendir. Binalara ait enerji performans simülasyonları, binaların ve sistemlerinin dinamik kullanımlarındaki işleyişine, mevcut ve oluşabilecek sorunlara, kullanım sonucu yapı ve malzeme sağlığına, iç mekan ısı konforuna, yapı kullanıcılarının konfor durumuna, enerji tüketimine ve tüketime bağlı karbon emisyonuna dair çıktılar sunmaktadır.

Uluslararası alanda, enerji etkin bina tasarımlarında, enerji performans analizlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş çeşitli simülasyon araçları bulunmaktadır. Attia'nın çalışmasında (2010) farklı Bina Performans Simülasyonu (BPS) araçlarına dair karşılaştırmalar sunulmakta ve kullanım zorlukları ve fırsatlarına yönelik karşılaştırmalı

analizler paylaşılmaktadır. Kullanılan simülasyon araçlarına örnek olarak Energy Plus ile ortak benzetim motoru kullanan DesignBuilder, TRANSYS, Energy-10, ECOTECT, e-QUEST verilmekte, oluşturulacak simülasyon model gereklilikleri, program kapsamlarına bağlı kullanılacak araç seçimi yapılabilmektedir (Attia, 2010, s. 14; Harputlugil Ulukavak, 2014, s.28).

Mevcut çalışma içerisinde bina enerji simülasyon aracı olarak DesignBuilder programı kullanılmıştır (Şekil 3.12.). Birleşik Krallık şirketi tarafından geliştirilen DesignBuilder, EnergyPlus ile ortak çalışarak analizleri birleştirmekte, mimari ara yüzü ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Yeni ve mevcut binaların çevresel performans analizine hızlı değerlendirmeler sağlamakta, araştırmacıya sunduğu üç boyutlu modelleme imkanı ile mimarlar, mühendisler, enerji değerlendiricileri tarafından kolaylıkla kullanılabilir. BIM'den içeri aktararak ya da DesignBuilder içerisinde oluşturularak elde edilen üç boyutlu modeller; enerji, konfor, gün ışığı, HVAC, aydınlatma, maliyet, CFD düzenlemeleri ve BREEM/LEED sertifika standartlarına uygun raporlar sunmaktadır (DesignBuilder, Information). DesignBuilder tipik kullanım amaçları maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir (Altensis, DesignBuilder Yazılımı, 2015).

- İncelenen binaya ait farklı cephelerin güneşlenme, aşırı ısınma, gölgeleme, konfor ve enerji tüketimi parametrelerinin değerlendirilmesi,
- Dış hava ile bağlantılı yapı içindeki ve etrafındaki sıcaklık, hız ve basınç analizlerinin CFD (Computational Fluid Dynamics) modülü ile hesaplanması,
- Yapı modellenmesinde yapı çevresine ait vaziyet planının modellenme imkanı ve çevre verilere bağlı gölgelemenin görselleştirilmesi,
- Yapı konumu verilerinin sağlanması ile günışığı optimum kullanımının değerlendirilmesi,
- Yapı içi ısıtma-soğutma planlamalarının HVAC tasarımına dahililiyeti,
- Doğal aydınlatma analizleri ile yapı için aydınlatma kontrol sistemlerinin modellenmesi şeklindedir.

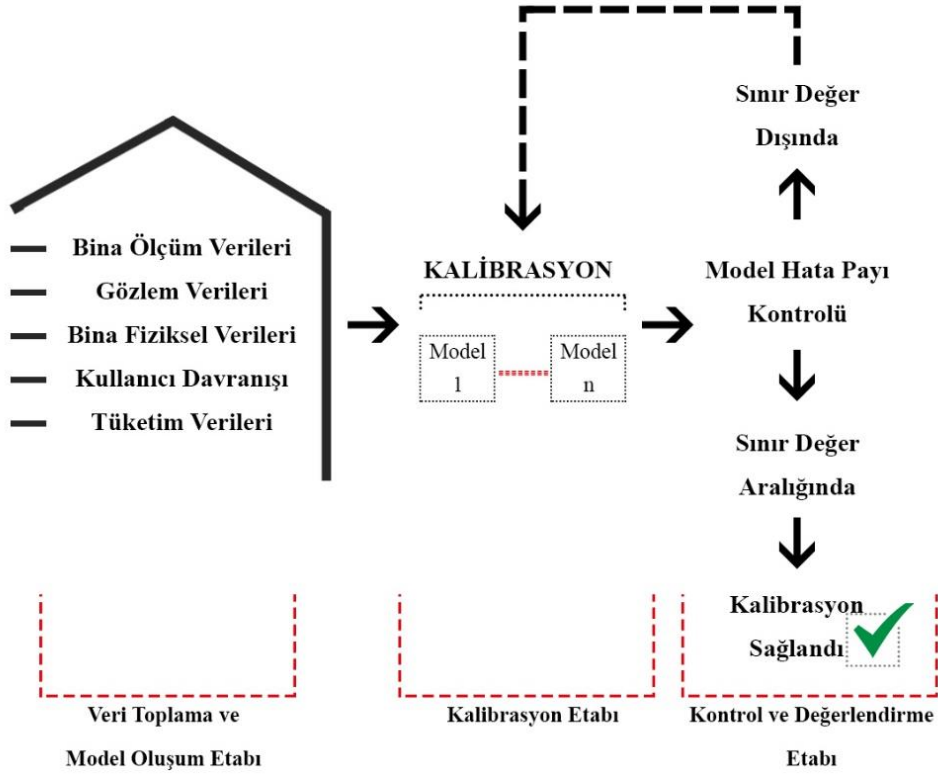


Şekil 3.12. DesignBuilder program ara yüzü

DesignBuilder ile enerji performans analizi yapılacak binanın geometrik modeli titiz bir dikkatle yapılmalı, malzeme farklılıkları saptanan noktalar ayrı layerlarda modellenmeli, model veri girişini etkilemeyecek fakat simülasyon süresini zorlaştıracak, gerçek yapı cephesinde yer alan detay süslemeler basitleştirilmeli, yapı içerisindeki farklı ısı zonları ayrı modellenmeli ve yapı çevre verileri model üzerinde yer almalıdır. Belirtilen dikkatler, oluşturulan üç boyutlu modeli mümkün olacak en iyi şekilde veri girişine hazır hale getirmeyi amaçlamaktadır.

3.5. Model Kalibrasyon Yaklaşımları

Bu tez içerisinde kullanılan yinelemeli metot, çalışma modelinin kalibrasyon sınır değerlerini sağlamadığı ve buna sebep olan parametre ya da parametrelerin saptanamadığı durumlarda her adımda bir parametrenin değiştirilmesi ile adım adım baz model üzerine uygulanan, tekil ve birleşik parametre düzeninin baz model kalibrasyon değerlerine etkisinin açıkça görülmesini sağlayan bir kurguya sahiptir (Güçyeter vd., 2023, s. 27). Bu kalibrasyon kurgusu sınır değerler sağlanana kadar devam ettirilmektedir (Şekil 3.13.).

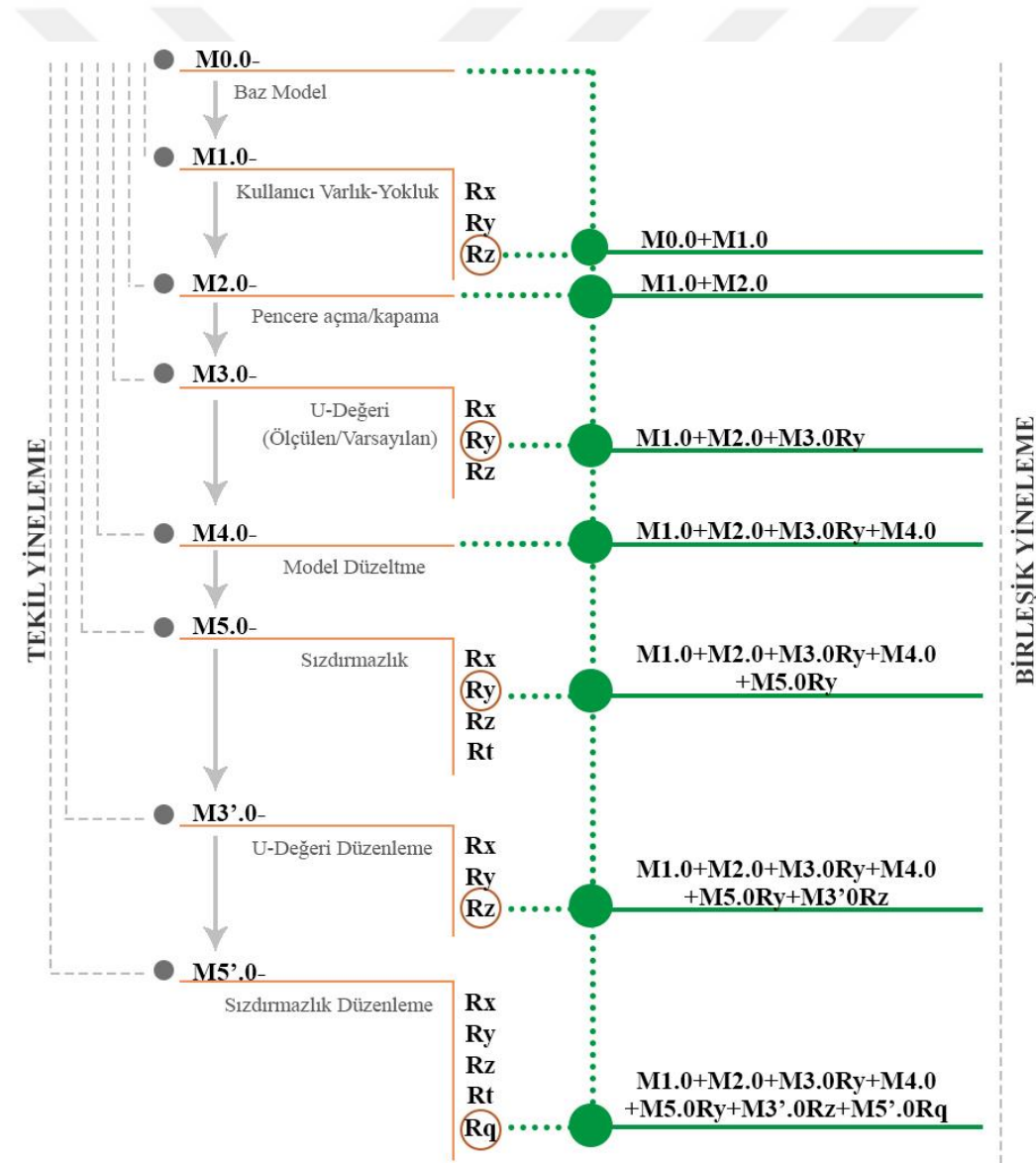


Şekil 3.13. Yinelemeli kalibrasyon diyagramı (Cornaro vd., 2019, s.4)

Şekil 3.13.’te sunulan kalibrasyon dizimi 3 etaptan oluşmakta, ilk etap üst bölümde paylaşıldığı gibi yapı tasarım verilerinden ve standartta yer alan varsayımlardan oluşmaktadır. Tüm verilerin titizlikle elde edilmesi ve modele kontrollü aktarımı, ilk etap ve doğru kalibrasyon model erişimi için oldukça önemlidir (Monetti vd., 2015, s. 2972). Kalibrasyon etabı, belirlenen parametreler ile kurgulanan, adım adım baz model üzerinde deneyimlenen, hem tekil hem de farklı parametrelerin birlikte değiştirildiği ve bu nedenle deneme sayısına dair net bir değer tahmini bulunamayan, her model ve kalibrasyon uygulayan uzmana göre değişken olan bir süreçten oluşmaktadır (Yang ve Becerik-Gerber, 2015, s. 417). Son etap, kontrol ve değerlendirme etabı, süreç içerisindeki model ve kalibre değerlerinin analiz edildiği, parametre değişkenlerinin baz model üzerindeki etkisinin incelendiği, birleşik parametrelere ait kurgu etkilerinin değerlendirildiği, gerçek binaya olası en yakın benzeşimin araştırıldığı aşamadır (Cornaro vd., 2019, s. 4).

Kalibrasyon sürecini kapsayan ikinci etapta Şekil 3.13.’te belirtildiği gibi model denemelerinin sayısı bilinmemekle birlikte hataya sebep olan parametre ve parametreler tespit edilene kadar (Model 1-Model n) devam ettirilmektedir. Baz model üzerine

basamaklar halinde uygulanan parametre düzenlemelerinin etkileri her bir düzenlemenin ardından hesaplanan RMSE ve MBE değer kontrolleri ile gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyon süreci içerisindeki tüm basamaklar ve bu denemeler sonucu elde edilen RMSE, MBE değerleri bulgular bölümünde paylaşılmaktadır (Bölüm 4.4). Belirlenen değerlerin standart sınırları içerisindeki yerinin değerlendirilmesi, kalibrasyon doğruluk düzeyi ve düzenleme yapılan parametre kapsamında ilerleyiş planı sunmaktadır. Mevcut çalışmada uygun kalibrasyon değeri sağlanana dek 32 model oluşturulmuş, Şekil 3.14.'te sunulan parametre akışı takip edilmiştir. Adım adım ilerletilen parametre değişkenleri gerekli yerlerde tekrar ele alınmış ve birleşik parametre ilişkili ek düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 3.14. Tekil ve birleşik düzende yinelemeli kalibrasyon süreci (Güçyeter vd., 2023'den uyarlanmıştır)

Şekil 3.14.'te sunulan kurgu, 8 asıl basamak ve asıl basamaklara bağlı yan basamaklardan oluşmakta, toplamda 20 düzenleme adımı içermektedir. Yinelemeli sunulan kalibrasyon kurgusunda görüldüğü gibi parametrelerin tekil etkisi ve birden çok parametrenin birlikte etkisi eş zamanlı analiz edilmiş ve baz model üzerindeki etkileri sorgulanmıştır. Sunulan çift yönlü ilerleyişin, yapı ve model üzerindeki parametrelerin etki gücünü açığa çıkaracak nitelik taşıdığı tespit edilmiştir.

3.6. Müdahale Paketlerinin Belirlenmesi

Çalışma içerisinde ele alınan örneklem yapı, tarihi değer taşıyan bir kültür mirasıdır. Kültürel miras hassasiyetine uygun planlanan izleme verileri sonucu yapının simülasyon modeli oluşturulmuş, kalibrasyonu sağlanmış ve bu şekilde simülasyon modeli üzerinde tespit edilecek müdahale etkilerinin gerçek yapıda da gözlenme çıkarımı maksimum düzeye getirilmiştir. Çalışma içerisinde incelenecek iyileştirme müdahaleleri 3 paket kapsamında sınırlandırılmaktadır. Paketler içerisine dahil edilen müdahale çeşitliliğinde tez içerisinde paylaşılan literatür verilerinden yararlanılmaktadır. Mevcut çalışmada ele alınan müdahale kurgularında güncel literatürde sık kullanılan, çalışma alanında uygulanabilirliği ve etkisi ispatlanmış müdahale başlıkları ile birlikte literatürde “yeni malzeme” anahtar kelimeleri ile son yıllarda yer edinmiş, araştırmaları halen devam eden inovatif müdahalelerin birlikte değerlendirmesi söz konusudur.

Oluşturulan 3 müdahale paketinin konsepti birbirinden ayrı ele alınmaktadır. İlk paket olan P1, literatürde kullanım sıklığı tespit edilmiş (Bölüm 2.2.), tarihi yapı için uygulanabilirliği literatür verilerince ispatlanmış müdahaleleri içermektedir. İkinci paket (P2), tarihi yapıda enerji iyileştirmesi odaklı müdahalelerde yenilenebilir enerji içeriklerini ele almaktadır. Üçüncü pakette ise (P3) güncel literatürde modern ve tarihi yapılar için uygunluk araştırmaları devam eden, inovatif yenilikçi malzemeler odak alınmaktadır. 3 paket olarak kurgulanan müdahale paketlerine ait içerikler aşağıda detaylandırılmakta, her paket içerisinde 5 müdahale yer almaktadır (Tablo 3.8.). Mevcut bölümde müdahale içerikleri paylaşılmakta uygulanan müdahalelerin etki çıktıları bulgular bölümünde aktarılmaktadır.

Tablo 3.8. Enerji etkin iyileştirme paketleri ve müdahale içerikleri

Paketler	Paket 1 (P1)	Paket 2 (P2)	Paket 3 (P3)
Müdahaleler	M1 Pencere cam değişimi Argon gazı dolgulu Çift Cam uygulaması	Pencere cam değişimi Şeffaf PV panel uygulamalı Çift Cam uygulaması	Pencere cam değişimi FDM malzeme uygulaması Termokromik cam
	M2 Sızdırmazlık İyileştirmesi (Kauçuk Bandı)	Sızdırmazlık İyileştirmesi (Kauçuk Bandı)	Pencere ile gömülü duvarlar arasında 50 mm poliüretan köpükle
	M3 Aydınlatma elemanı revizyon-Floresan Aydınlatma	Aydınlatma elemanı revizyon - LED Aydınlatma	Aydınlatma elemanı revizyon - LED Aydınlatma
	M4 Döşeme malzeme revizyonu +Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Döşeme malzeme revizyonu +Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Döşeme malzeme revizyonu + Aerojel Yalıtım uygulaması
	M5 Çatı malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Çatı malzeme revizyonu + PV Panel Uygulaması	Çatı malzeme revizyonu + Aerojel Yalıtım uygulaması

3.6.1. Müdahale paketi-1

Birinci müdahale paketi üst bölümde de özet olarak bahsedildiği gibi literatürde kullanımına rastlanan, etkisi ispatlanmış müdahale içeriklerini kapsamaktadır. Literatür verilerinin paylaşıldığı bölümde müdahalelerin ele alındığı kaynaklar, simülasyon ya da uygulama aşamasında kullanan yazarların paylaştıkları sonuç verileri aktarılmaktadır. Literatürde sıkça karşılaşılan müdahale konseptine sahip Paket 1 içerisinde pencere-cam değişiminde (P1M1) çift cam uygulaması, sızdırmazlık iyileştirmesi (P1M2), aydınlatma elemanında revizyon (P1M3), döşeme malzeme revizyonu ve döşemelere yalıtım uygulamasında taş yünü (P1M4) ve son olarak çatı malzemelerinde revizyon ve çatı kurgusuna taş yünü yalıtım eklentisi (P1M5) ile paket içeriği tamamlanmaktadır (Tablo 3.9.).

Tablo 3.9. *Müdahale Paketi 1'e ait müdahale içerikleri*

Paket 1 (P1)		Eski Uygulama			Yeni Uygulama		
Müdahaleler	M1	Pencere cam değişimi - Çift Cam uygulaması	6mm düz cam + 13mm hava + 6mm düz cam			6mm düz cam + 13mm argon gazı + 6mm düz cam	
			Güneş Enerjisi	Görünür Işık	U-Değeri	Güneş Enerjisi	Görünür Işık
			Toplam Geçirgenlik (SHGC)	geçirgenliği (VLT)	(W/m ² K)	Toplam Geçirgenlik (SHGC)	geçirgenliği (VLT)
			0.703	0.781	2.665	0.704	0.781
	M2	Sızdırmazlık İyileştirmesi (ac/h)	-			Kauçuk bandı	
	M3	Aydınlatma elemanı revizyon	Akkor Flamanlı Lamba		84.000 (W/m ²)	Kompakt Floresan Aydınlatma	
						15.000 (W/m ²)	
	M4	Döşeme malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Ahşap döşeme kaplaması			Ahşap döşeme kaplaması	
			Kadraj çitası		1.075	Kadraj çitası	0.582
			Betonarme döşeme		U-değeri	Isı yalıtımı (Taş Yünü)	U-değeri
			Kadraj çitası		(W/m ² K)	Kadraj çitası	(W/m ² K)
			Ahşap döşeme kaplaması			Betonarme döşeme Yapıştırıcı Ahşap döşeme kaplaması	
	M5	Çatı malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Ahşap kaplama			Ahşap kaplama	
			Kiremit bağlama çitası		1.010	Su yalıtımı	0.627
			Kiremit kaplama		U-değeri	Isı yalıtımı (Taş Yünü)	U-değeri
						Kiremit kaplama çitası	
						Kiremit kaplama	

Sunulan Tablo 3.9.'da paket içerisindeki müdahaleler ve müdahale uygulamalarının temel özellikleri paylaşılmaktadır. Aktarılan 5 müdahale içeriğinin uygulama öncesi baz model üzerinde kabul alınan değerleri ve uygulamalar sonrası güncel değerler Tablo 3.9.'daki gibidir.

M1 müdahalesinde mevcut yapıda kullanılan çift cam uygulamasında camlar arasındaki boşlukta hava yerine argon gazı uygulaması gerçekleştirilmektedir. Uygulama sonrası güneş enerjisi toplam geçirgenliğinde ve görünür ışık geçirgenliğinde değişiklik olmamakla birlikte camdaki U değeri, uygulama öncesi 2.665 W/m²K iken argon gazı eklentisi ile 2.511 W/m²K olarak güncellenmektedir. Uygulanan müdahale ile yapı üzerindeki mevcut malzemede düşük bir U değeri iyileştirmesi söz konusudur. U değerindeki düşük iyileştirme müdahalesi, basit çözüm örneği niteliğindeki durumu ile

hazırlanan müdahale paketlerinin gerçekçiliğini artırdığı yönünde yorumlanmakta ve bu paketteki M1 müdahalesinde düşük iyileştirme etkisi korunmaktadır.

M2 kodlu sızdırmazlık iyileştirmesinde yapı üzerinden ölçüm yapılamamış fakat literatür çıktıları doğrultusunda (Fard ve Nasiri, 2020; Cho vd., 2020; Blecich vd., 2016) pencere ve kapı çerçevelerinden kaMynaklanan sızırmalar için müdahale planlanmıştır. Planlanan iyileştirme müdahalesi kapsamında paket 1 içerisine pencere, kapı çerçevelerine kauçuk bant uygulaması gerçekleştirilmektedir. Kauçuk bant uygulaması sonucu pencere çerçevesindeki U-değeri $3.633 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den $3.282 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'e dönüştürülerek sızdırmazlık değerlerinde de simülasyon üzerinden sayısal veri elde edilememiş fakat yapı içi ısı kütlesinde pozitif sonuçları gözlenmiş iyileştirme gerçekleştirilmektedir.

M3 müdahalesinde aydınlatma elemanlarında değişim söz konusudur. Mevcut durumda kullanılan akkor flamanlı lambalar kompakt floresan aydınlatmalar ile değiştirilmektedir. Enerji verimliliği sınıfı E-F olan akkor telli ampuller, görünür ışıktan daha çok ısı yaymakta ve verimi düşük ampul sınıfına girmektedir (Coşkuner ve Öztop, 2016). Paket 1 içerisinde yer alan 2 aydınlatma elemanına ait kıyasta 20 W değerindeki kompakt floresan lambanın 100 W değerindeki akkor flamanlı ampule eş değer aydınlatma sağlamaktadır (Guan vd., 2015). Akkor flamanlı ampuller 84.000 W/m^2 aydınlatma güç yoğunluğuna (LPD) sahip iken kompakt floresan aydınlatmaları 15.000 W/m^2 aydınlatma güç yoğunluğuna (LPD) sahiptir. Aydınlatma teknolojisindeki gelişmelerin gerisinde olan floresan aydınlatmanın mevcut paket içerisindeki önerisi, paketler arası kademeli öneri tercihidir. Mevcut durumdaki akkor telli aydınlatma elemanı ilk kademe iyileştirmesi olarak Paket 1 içerisinde floresan aydınlatmaya dönüştürülmüştür.

M4 ve M5 müdahalelerinde ise bina iç döşemelerinde ve çatı konstrüksiyonunda revizyonlar gerçekleştirilmektedir. Geçmiş restorasyonunda halı altı ısıtma uygulaması denenmiş ve ardından kullanıcı memnuniyetsizliği sebebi ile tadilata gidilmiş örneklem yapıda iç döşeme ahşap kaplamalarında gözle görülür tahribatlar mevcuttur. Tahrip yüzeylerde halı gibi kaplamalar ile gerçekleştirilen geçici çözümler de göz önüne alınarak paketler içerisinde döşeme ve çatı malzemelerinde revizyon önerilmektedir. Paket 1 içerisinde malzeme revizyonu ile birlikte uygulanacak yalıtımda taş yünü kullanılmaktadır. Isı yalıtımı ile birlikte ses yalıtımında da etki ispatı söz konusu olan malzemenin ısı iletkenlik değeri $0,035\text{-}0,050 \text{ W/mK}$ aralığındadır (TS 825, s. 46). M4 ve

M5 içerisindeki malzeme katmanları Tablo 3.9’da verilmekte olup müdahale öncesi 1.075 W/m²K olan döşeme U-değeri 0.582 W/m²K’e yükseltilmekte, 1.010 W/m²K olan çatı kurgusu U-değeri revizyon ve yalıtım uygulaması sonucu 0.627 W/m²K olarak güncellenmektedir.

3.6.2. Müdahale paketi-2

İkinci müdahale paketinde literatürde kullanımına rastlanan fakat tarihi yapıda uygulanabilirliği halen araştırılan müdahale içerikleri ele alınmakta ve uygun müdahale yöntemleri araştırılmaktadır. Paket içerisinde paket 1 üzerine eklemenecek yenilenebilir enerji içerikli müdahaleler yer almaktadır. Paket 1’e göre M1, M3 ve M5 müdahalelerinde revizyon söz konusudur (Tablo 3.9.). Üst üste binen paket oluşumu ile M1 müdahalesindeki pencere cam değişiminde şeffaf güneş panelleri (solar window), M3 müdahalesinde LED aydınlatma revizyonu ve M5 müdahalesinde çatıya PV panel uygulaması ile yenilenebilir enerji kaynak eklentisinin etkisi Paket 1 sonuçları üzerinden açıkça görülebilmekte ve oluşturulan yeni paket kurgusunun enerji verimlilik kazancı baz model üzerinden değerlendirilebilmektedir. Aynı müdahale altlığının korunup (Paket 1), yeni paketlerde (P2 ve P3) müdahale revizyonları kurgusu değişken etkisinin yorum güvenilirliğini artırmaktadır (Tablo 3.10.).

Sık kullanılan müdahale içerikleri ile yenilenebilir enerji içeriklerini birlikte ele alan paket içeriğinde pencere camlarındaki revizyon için çift cam uygulamasında şeffaf güneş paneli–(P2M1) ele alınmaktadır. 2019 yılında Michigan Eyalet Üniversitesi araştırmacıları tarafından bulunan tamamen şeffaf güneş panelleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi kullanımını geliştirmekte, panel pencere camı entegrasyonunu uygulanabilirlik ve estetik boyutta olanaklı hale getirmektedir. Aynı zamanda saydam yüzeylere uygulanabilirlik imkanı ışık geçirgenliği engellenmeden enerji kazancını sağlamaktadır. Şeffaf güneş paneli projesinde görev alan Lunt’ın açıklamasına göre, tasarlanan malzeme ultraviyole ve kızıl ötesi dalgalarını yakalayıp hapsedmektedir. Hapsedilen ışık, panelin dış hatlarında bulunan fotovoltaiik hücreler ile elektriğe dönüştürülmektedir (MSUTODAY, 2021). Mevcut paket içerisinde, güneş paneline ait şeffaflık camı pencereleri revizyonunda (P2M1) ele alınmakta, simülasyon içerisine belirtilen özellikler manuel olarak aktarılmaktadır.

Paket içeriğinde bina sızdırmazlıklarında kauçuk bant iyileştirmesi (P2M2), aydınlatma elemanlarında LED aydınlatma (P2M3), döşeme malzeme revizyonu ve döşemelere yalıtım uygulamasında taş yünü (P1M4), çatı malzemelerinde revizyon ile birlikte batı (P2M5.1), güney (P2M5.2) cephe çatılarında fotovoltaiik panel uygulaması alternatifli olarak gerçekleştirilmektedir (Tablo 3.10.).

Tablo 3.10. Müdahale Paketi 2'ye ait müdahale içerikleri

Paket 2 (P2)		Eski Uygulama		Yeni Uygulama	
Müdahaleler	M1	Pencere cam değişimi – şeffaf PV panelli cam	6mm düz cam + 13mm hava + 6mm düz cam	6mm düz cam + şeffaf güneş paneli + 6mm düz cam	
	M2	Sızdırmazlık İyileştirmesi (ac/h)	-	Kauçuk bandı	
	M3	Aydınlatma elemanı revizyon	Akkor Flamanlı Lamba	84.000 (W/m ²)	LED Aydınlatma 7.500 (W/m ²)
	M4	Döşeme malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Taş Yünü)	Ahşap döşeme kaplaması	Ahşap döşeme kaplaması	
			Kadraj çitası Betonarme döşeme	1.075 U- değeri (W/m ² K)	Kadraj çitası Isı yalıtımı (Taş Yünü) U- değeri (W/m ² K)
	M5	Çatı malzeme revizyonu + PV panel uygulaması	Kadraj çitası Ahşap döşeme kaplaması	Kadraj çitası Betonarme döşeme Yapıştırıcı Ahşap döşeme kaplaması	
			Ahşap kaplama Kiremit bağlama çitası Kiremit kaplama	Ahşap kaplama Su yalıtımı Isı yalıtımı (Taş Yünü) Kiremit kaplama çitası Kiremit kaplama PV Panel (10)	

Paket içerisindeki M2 ve M4 müdahaleleri paket 1 kullanımı ile aynı tutulmaktadır. Pencere-kapı açıklıkları etrafında kauçuk bant kullanımı ve döşeme revizyonuna ek taş yünü yalıtım uygulaması bu paket içerisine de dahil olmaktadır. M3 müdahalesinde aydınlatma elemanındaki revizyon ile birlikte LED aydınlatma önerisi sunulmaktadır.

Tablo 3.10'da sunulduğu gibi paket 2 içeriğinde M5 müdahalesi ile çatı revizyonlarına yenilenebilir enerji kaynakları entegre edilmektedir. Tezin üst bölümlerinde paylaşılan müdahale literatür verilerine göre yenilenebilir enerji çözümleri kategorisinde fotovoltaiik panel sistemleri (PV), güneş kollektörleri, ısı pompası termal

toplayıcıları, rüzgar türbini olmak üzere enerji üretimi için kullanılan stratejiler yer almaktadır (Tablo 2.2.). Elde edilen yönlendirici kaynaklar (Kutty vd., 2023) ile birlikte mevcut tezin ikinci müdahale paketinde örneklem yapı Tiryakizade Süleyman Ağa cami çatısında yenilenebilir enerji üretimi için çatı yüzeyine entegre PV paneller yerleştirilmektedir. Örneklem yapı çatısına PV entegrasyonunu içeren paket 2 içerisindeki 5. müdahale önerisi üç alternatifli ele alınmakta, bulguları karşılaştırmalı olarak sunulmakta ve tartışılmaktadır. Tarihi yapıda görsel kaygı nedeniyle cephe aldığı sokak ve çevre vistalardan panel görünürlüğü dikkati Lingfors vd.'nin (2019) çalışmalarında sunduğu değerlendirme kriterlerine göre ele alınmaktadır. Paket değerlendirmelerinde söz konusu olan tarihi yapı ile uyum parametresi göz önüne alınarak panel yerleşimleri farklı cephelerde ele alınmakta (M5.1, M5.2 ve M5.3), aynı sayıda aynı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip PV panel müdahalelerinin verimlilik çıktıları bulgular bölümünde paylaşılmakta, her yönetime ait kullanım alternatifi değerlendirmeye alınmaktadır.

Tablo 3.11.'de çalışma için seçilen fotovoltaik panele ait fiziksel ve mekanik özellikler Sunmodule firmasının ilgili panel föyünden elde edilmekte ve simülasyon programı içerisine yazar tarafından tanımlanmaktadır (SOLARWORLD, Sunmodule).

Tablo 3.11. Simülasyona eklenen fotovoltaik panele ait mekanik özellikler (SOLARWORLD, Sunmodule – SW100polyRGP).

Mekanik Özellikler	
Hücre boyutu (mm)	52 x 156
Hücre sayısı	72
Hücre tipi	Polikristal
Ağırlık	8.0 kg
Panel boyutu (mm)	734x1001x34
Maks. güç	100 Wp
Çalışma aralığı	-40°C - +85 °C
Panel verimliliği (%)	17.2

Sunulan paket sonucunda her iki cephede ve abdesthane üzerinde kurgulanan yenilenebilir enerji müdahalesinde de 80 panel polikristal güneş PV paneli önerilmektedir. Önerilen paneller Tablo 3.11.'de aktarıldığı gibi 100 Wp maksimum güce ve 17.2% verimliliğe sahiptir. Belirtilen alternatif kullanımlarda, farklı cephe tercihlerine uygun çatı yüzey alanına denk panel yerleşimleri gerçekleştirilmektedir. Her alternatif

müdahale kurgusunda panel özellikleri ve panel-modül sayısı eşit tutulmakta tek değişken cephne farkı kaynaklı güneşlenme süresidir. PV sisteminde yönelim, maksimum enerji üretiminde önemli bir faktör olmakla birlikte Quintana vd.'nin (2021) çalışmasına göre kuzey yarımkürede uygulanacak PV panellerde en uygun yönelim için güneşe dönük uygulama gerekmektedir. Böylece PV panelin gün boyunca doğrudan ışık almasının sağlanacağı belirtilmektedir. Yönetime ek olarak PV verimliliğini pozitif etkileyen bir diğer faktör panelin eğim açısıdır. Darhmaoui vd.'nin de çalışmalarında sunduğu ve uyguladığı gibi kuzey yarımkürede yer alan PV'nin ayarlanmasında en etkili eğim açısının coğrafi enleme eşit olduğu zaman için tespit edilmektedir. Mısır'ın kuzeyinde gerçekleştirilen çalışmada PV panellere uygulanan ve maksimum enerji üretimi gerçekleştirildiği belirtilen eğim açıları 30,1 ve 31,3'tür (Darhmaoui vd., 2013). Sunulan referans bilgiler doğrultusunda mevcut çalışma içerisinde, önerilen panel eğim açısı 40 derece olup, Türkiye'nin coğrafi enlemlerine uygun değerdedir. 3 öneri olarak sunulan uygulama alternatiflerinin hepsinde 40 derece eğim açısı korunmakta, panel yönelimleri cephne farklılaşması kaynaklı değişmektedir. Yönelim faktörü mevcut paket içerisinde tek değişken olarak kabul edilerek karşılaştırmalı verim sonuçları bulgular bölümünde paylaşılmaktadır.

3.6.3. Müdahale paketi-3

Verimli enerji kullanımında tasarruf amaçlayan yenilikçi malzemeler yapı teknolojisi sektöründe hızla yükselen odak çalışma alanlarından (Lucchi vd., 2017; Berardi, 2018; Yalçın Özçelik vd., 2017; Ganobjak ve Kralova, 2017; Del Curto ve Cinieri, 2020). Aerojel destekli yapı malzeme üretimi bina teknolojisi sektöründe önemli yer etmekte, arojel ile güçlendirilmiş ürünler genellikle yapı kabuğunun ısı direncini artırmak amaçlı umut verici malzemeler sunmaktadır (Berardi, 2018, s. 371). Nano teknoloji tabanlı üretilen yalıtım malzemeleri cam yünü, taş yünü, cam köpüğü, EPS köpükler gibi geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla 2-5 kat daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip (Özçelik vd., 2017, s. 2189) olmakla birlikte geleneksel malzemeler ile karşılaştırıldığında düşük çekme mukavemetleri ve yüksek maliyetleri dolayısıyla çoğunlukla diğer malzemeler ile kombinasyon halinde kullanılmaktadır (Rinnovabili.it, 2019). Yalıtım çözümleri ve yapı ürünleri için bir bileşen sunan arojellerin yapı üzerindeki kullanımına vakumlu yalıtım panelleri, arojel dolgulı camlar, levhalar,

battaniyeler, duvar kağıtları, duvar resimleri, harç ve sıva uygulamaları örnek verilebilir (Rinnovabili.it, 2019).

Aerojel bazlı malzemelerin güncel literatürde tarihi yapılarda kullanım ve uyumluluğuna dair çalışmalar gözlenmektedir. Del Curto ve Cinieri (2020) aerojel esaslı sıvaların tarihi yapılardaki enerji verimliliğine dair literatür taraması paylaşmıştır. Sunulan verilere göre silika aerojel bazlı hidratlı kireç sıvanın hem mekanik hem de higrotermal açıdan geleneksel masif yapılar ile uyumlu çalıştığı belirtilmektedir. Aerojel bazlı sıvaların kolay kurulumları ve tersine çevrilebilme özellikler dolayısıyla tarihi binalarda uygunluğu farklı çalışmalar ile desteklenmektedir. 2017 yılında Lucchi vd. tarafından aerojel teknolojisine dayalı yalıtım malzemesinin tarihi doku ile uyumluluğu gerçek boyutlu maket üzerinde laboratuvar testleri ile gerçekleştirilmiş ve yeni malzemenin kolay uygulanabilirliği, geri dönüştürülebilir özelliği, tarihi doku ile uyumu onaylanmıştır. Bununla birlikte Ferrari ve Riva'nın (2019) yayınladığı çalışmada aerojel destekli şeffaf yalıtım malzemesinin tarihi yapı ile uyumu onaylanırken ısı özelliklerinin etki değeri sorgulanmaktadır. Literatür verileri ile yüksek oranda desteklenen tarihi yapı uyumunun saha deneyleri ile araştırılma gerekliliği ve farklı malzemeler ile kombine uygulama sonrası yapı üzerindeki etki araştırması sayısının artırılması halen söz konusu olan bir ihtiyaçtır.

Devam eden araştırma literatürü dolayısıyla mevcut tez içerisinde inovatif konsept ile hazırlanan paket 3 içeriğine yenilikçi malzeme olarak aerojel yalıtım ve faz değiştiren malzeme içeriğine sahip termokromik cam uygulamaları dahil edilmektedir. Mevcut tezin üçüncü paketinde aerojel yalıtım uygulamalarına döşeme ve çatı yalıtımlarında, faz değiştiren malzeme uygulamasına ise yapı üzerindeki cam revizyonunda yer verilmektedir (Tablo 3.13.). Öncelikle simülasyon içerisine dahil edilen aerojel esaslı yalıtım malzemesi, Aspen firması tarafından detaylı özellikleri paylaşılmış “Spaceloft Gray” (Aspen/aerogels, Northborough/Massachusetts) olarak belirlenmekte ve temel özellikleri Tablo 3.12.’de aktarılmaktadır.

Tablo 3.12. Aerojel yalıtım malzemesinin temel özellikleri

Yalıtım Malzemesi	Üretici Firma	Ticari Unvan	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı Kapasitesi (J/kg-K)	Termal İletkenlik (W/m-K)
Aerojel	Aspen	Spaceloft Gray (Aspen)	146,00	1.000,00	0,0140
Aerojel Bazlı Kaplama	-	-	336,00	1.091,00	0,0510

İnovatif, yenilikçi malzeme kullanımını konsept alan Paket 3 içerisinde pencere değişiminde termokromik malzeme kullanımı (P3M1), sızdırmazlık iyileştirmesinde pencere kapı etrafına poliüretan köpük müdahalesi (P3M2), aydınlatma elemanında revizyonunda LED aydınlatma (P3M3), döşeme malzeme revizyonu ve döşemelere yalıtım uygulamasında aerojel teknolojisi destekli spaceloft gray (P3M4) ve çatı kurgusuna yine aynı şekilde spaceloft gray yalıtım eklentisi (P3M5) ile paket içeriği tamamlanmaktadır (Tablo 3.13.).

Tablo 3.13. Müdahale Paketi 3'e ait müdahale içerikleri

Paket 3 (P3)		Eski Uygulama			Yeni Uygulama			
Müdahaleler	M1	Pencere cam değişimi - Çift Cam uygulaması	6mm düz cam + 13mm hava + 6mm düz cam		6mm düz cam + Termokromik malzeme (FDM) + 6mm düz cam			
			Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik (SHGC)	Görünür Işık geçirgenliği (VLT)	U-Değeri (W/m²K)	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik (SHGC)	Görünür Işık geçirgenliği (VLT)	U-Değeri (W/m²K)
			0.703	0.781	2.665	0.569	0.409	2.130
	M2	Sızdırmazlık İyileştirmesi (ac/h)	-		50 mm Poliüretan Köpük			
	M3	Aydınlatma elemanı revizyon	Akkor Flamanlı Lamba		84.000 (W/m²)	LED Aydınlatma	7.500 (W/m²)	
	M4	Döşeme malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Aerojel)	Ahşap döşeme kaplaması Kadraj çıtası Betonarme döşeme Kadraj çıtası Ahşap döşeme kaplaması		1.075 U-değeri (W/m²K)	Ahşap döşeme kap. Kadraj çıtası Isı yalıtımı (Aerojel) Kadraj çıtası Betonarme döşeme Yapıştırıcı Ahşap döşeme kap.	0.220 U-değeri (W/m²K)	
M5	Çatı malzeme revizyonu + Yalıtım uygulaması (Aerojel)	Ahşap kaplama Kiremit bağlama çıtası Kiremit kaplama		1.010 U-değeri (W/m²K)	Ahşap kaplama Su yalıtımı Isı yalıtımı (Aerojel) Kiremit kaplama Kiremit kaplama	0.340 U-değeri (W/m²K)		

Tablo 3.13.'te aktarılan 5 müdahale içeriklerinin uygulama sonrası güncel değerleri paylaşılmakta ve önceki paket tanıtımlarında olduğu gibi baz model ve güçlendirilmiş model değerleri birlikte sunulmaktadır.

M1 müdahalesinde mevcut yapıda kullanılan çift cam uygulamasında camlar arasındaki boşlukta hava yerine simülasyon uygulaması içerisinde yer termokromik malzemenin uygulaması gerçekleştirilmektedir. Uygulama sonrası güneş enerjisi toplam geçirgenliği 0.703'ten 0.569'e güncellenirken ve görünür ışık geçirgenliği 0.781'den 0.409'a düşmüştür. Bu durumda elde edilen pencere U-değeri $2.130 \text{ W/m}^2\text{K}$ ile ısı iletimi daha düşük bir malzemeye dönüşmektedir. M2 kodlu sızdırmazlık iyileştirmesinde paket 3 kapsamında Abdelrady vd.'nin çalışmasında (2021) uyguladığı gibi pencere ve kapı ile gömülü duvar çevrelerine 50 mm poliüretan köpük entegrasyonu kullanılmaktadır (P3M2). M3 müdahalesindeki aydınlatma revizyonunda LED aydınlatma kabul edilmektedir (P3M3). Baz modelde mevcut olan 84.000 W/m^2 aydınlatma güç yoğunluğuna (LPD) sahip akkor flamanlı aydınlatma elemanları 7.500 W/m^2 güç yoğunluğuna (LPD) sahip LED aydınlatmalar ile revize edilmektedir. M4 ve M5 müdahaleleri içerisindeki döşeme ve çatı yalıtım malzemesinde paket 3 içerisine üst metinde de aktarıldığı gibi aerjel teknolojisi kullanılmış yalıtım malzemeleri dahil edilmektedir. Seçilen yalıtım malzemesi ile baz modelde $1.075 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan iç döşeme U-değeri $0.220 \text{ W/m}^2\text{K}$ olmakta, $1.010 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan çatı U-değeri $0.340 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak güncellenmektedir (Tablo 3.13.). Paket içerisinde uygulanan müdahalelerin etki çıktıları ve diğer paketlere göre değerlendirme verileri bulgular bölümünde paylaşılmaktadır.

Üç farklı paket olarak hazırlanan iyileştirme müdahalelerinin yapı üzerindeki uygulama alanları sabit tutulmakla birlikte uygulama içeriği değiştirilmektedir. Bu şekilde aynı hacimde, aynı ebatlarda farklı uygulama tekniklerinin etkisinin net bir şekilde görülmesi ve karşılaştırmaya açık tutumu amaçlanmaktadır.

3.7. İyileştirme Senaryolarının Oluşturulması

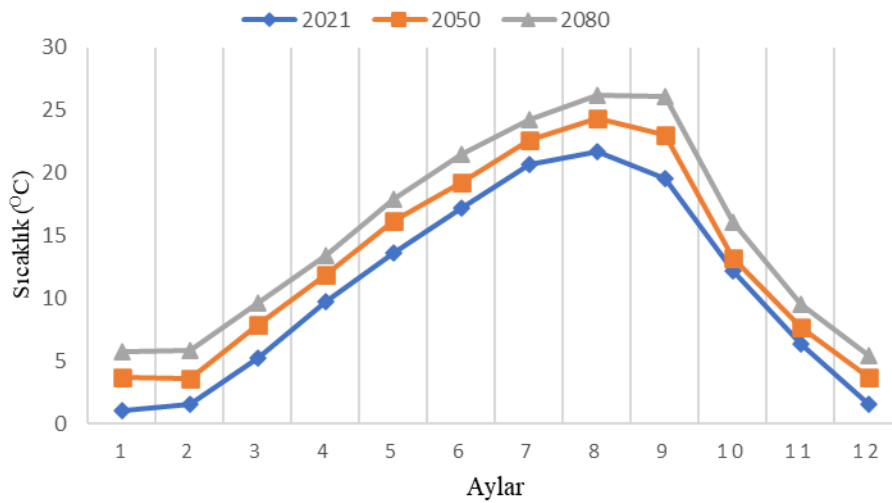
Müdahale içerikleri birbirinden ayrıştırılmış 3 farklı enerji iyileştirme paketi, mevcut çalışmada 2023-2050-2080 yıl iklim şartlarında incelemeye alınmaktadır. 3 enerji paketinin 3 ayrı yıl ikliminde değerlendirmeye alınması ile oluşturulan senaryolar ile tarihi yapılarda uygulanan, uygulanması planlanan müdahalelerin bugün (2023) ve gelecek yıl iklimlerindeki (2050-2080) enerji performansı, farklı iklim şartlarındaki ısı

davranışları, iç ortam konforunda gerçekleşecek değişimler ile bugün planlanan uygulamaların ileriki yıllar için sürdürülebilirliğinin sorgusu amaçlanmaktadır. Günümüz iklim şartlarına cevap veren iyileştirme müdahalelerinin içinde bulunan iklim krizi senaryosundaki yerinin araştırılması ile gelecek yıllar için uyumsuz, düşük etki potansiyeli taşıyan müdahale maddelerinin öngörüsü çalışmanın önemli bir çıktısıdır.

Mevcut tez içerisinde günümüz ve gelecek yıl iklimleri kullanılmaktadır. Gelecek yıl iklim projeksiyonlarının üretimi için bugüne ait gerçekliğe yakın iklim verilerine ihtiyaç vardır. Tüm yılın gerçek iklim verilerine erişim gerekliliğinde en yakın yıl olarak 2023 yılı seçilebilmekte ve bununla birlikte tez içerisinde bugünü simgeleyen yıl iklimi olarak 2023 verileri kullanılmaktadır.

Simülasyon programı ile uyumlu iklim verilerinin paylaşıldığı bir siteden (Climate.onebuilding.org) 2007-2021 yıllarına ait ortalama iklim verileri elde edilmekte ve bu EPW formatlı dosya, CCWorldWeatherGen programından elde edilen istatistik bulguları ile 2023 yılı verilerine dönüştürülmektedir.

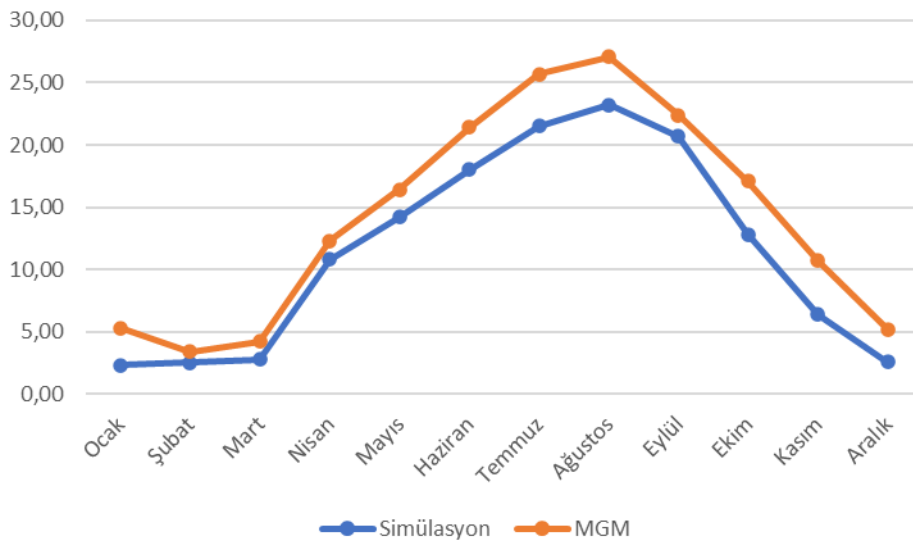
CCWorldWeatherGen programı 2020, 2050 ve 2080 iklim verileri sunmakta böylelikle yüklenen güncel veri ancak bu yıllara ait dosyalara dönüştürülebilmektedir. Mevcut kısıt, çalışma içerisinde istatistiksel formatta kullanılmıştır. Öncelikle program içerisine yüklenen 2021 yılı EPW dosyasının 2050 ve 2080 formatları elde edilmiş ve bu 3 ayrı tarihli iklim verileri birbirleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 3.15. 2021,2050, 2080 iklim veri dağılımları

Karşılaştırması Şekil 3.15'te grafik anlatım ile sunulan 2021,2050,2080 verilerine ait veri trendleri birbiri ile uyumlu olmakla birlikte 2021 yılına ait yıllık ortalama sıcaklık değeri ile 2080 yıllık ortalama sıcaklık değeri arasında 4,70 °C fark bulunmaktadır. Veri karşılaştırmasında elde edilen aylık ortalamalardaki artışlar ile 2023 iklim verileri oluşturulmuştur. Burada 2021-2050 yılı arasındaki sıcaklık artışı lineer artış olarak kabul edilmiş ve aylık ortalama artış katsayısı (1,10) elde edilmiştir. Oluşturulan 2023 Excel dosyası EPW formatına dönüştürülerek simülasyon programı içerisine yüklenmiştir.

Dönüştürülmüş dosyanın gerçek iklim verileri ile karşılaştırması Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2023 yılı iklim dosyası ile sağlanmıştır. İki iklim dosyasının korelasyon değeri 0,99 bulunmakla birlikte iki verinin birbiri ile güçlü ilişkili olduğu istatistiksel olarak tespit edilmiştir. 2023 yılına ait iki dosya verisi Şekil 3.16. üzerinde gösterilmekle birlikte dosyalar arasındaki sıcaklık farklılıklarının birtakım belirsizlikler oluşturabileceği ifade edilmelidir.



Şekil 3.16. 2023 yılı iklim verilerinde simülasyon iklim dosyası ile MGM veri dosyasının karşılaştırması

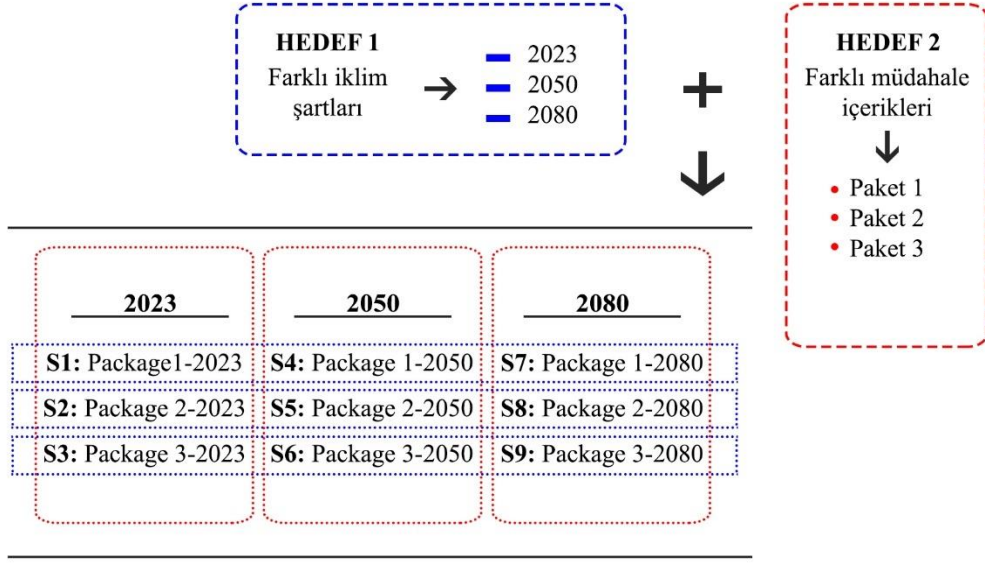
Enerji iyileştirmeleri kapsamında elde edilen farklı senaryo oluşumlarına yönelik belirlenen araştırma soruları aşağıdaki gibidir;

- Günümüz literatüründe yaygın kullanılan müdahalelerin (P1) gelecek iklim şartlarındaki enerji performansları nasıldır?

- Günümüz literatüründe yaygın kullanılan iyileştirmelerin (P1) gelecek iklim şartlarına uyum probleminin tespiti söz konusu olduğunda müdahale revizyon gerekliliklerinin tarihi yapı değerinde, revizyon sürecindeki enerji tüketiminde, oluşacak maliyet açığında karşılığı nedir?
- Ekonomik veya bazı çevresel göstergelere dayalı ya da tarihi değer kısıtı odaklı alınan kararlar, gerekenden veya beklenenden daha düşük sürdürülebilir performansa sahip çözümlere yol açabilir mi?
- Yenilenebilir enerji içerikli iyileştirme müdahalelerinin (P2) tarihi yapı ile uyumu, kültürel miras kısıtlarınca kabulü mümkün müdür?
- Yenilenebilir enerji içerikli iyileştirme müdahalelerinin (P2) gelecek iklim şartlarındaki enerji performansı nasıldır?
- Yenilenebilir enerji içerikli iyileştirme müdahalelerinin (P2) yapı içi enerji tüketiminde etkisi nedir? Ekonomik karşılığı ve geri ödeme planı nasıldır?
- Güncel literatürde yer alan inovatif-yeni malzemelerin (P3) tarihi yapı ile uyumu, günümüz şartlarında uygulanabilirliği, kültürel miras kısıtlarınca kabulü mümkün müdür?
- Güncel literatürde yer alan inovatif-yeni malzemelerin (P3) gelecek iklim şartlarındaki enerji performansı nasıldır?
- Güncel literatürde yer alan inovatif-yeni malzemelerin (P3) yapı içi enerji tüketiminde etkisi nedir? Ekonomik karşılığı ve geri ödeme planı nasıldır?

Alt bölümde detaylı anlatımı söz konusu olan senaryolarda müdahale parametrelerine yıl değişkenleri dahil edilmekte, tarihi yapıda enerji iyileştirmelerinde uygulanabilecek müdahale alternatifleri çok yönlü değerlendirmeye alınmaktadır.

Farklı kapsamlara sahip müdahale kurgularının gelecek iklim şartlarına uyumluluğu araştırılan tez içerisinde Hedef 1 ve Hedef 2 çakışması sonucu Şekil 3.17.'de yer alan tablo elde edilmektedir. Müdahale parametrelerine yıl değişkenleri dahil edilen çalışmada, tarihi yapıda enerji iyileştirmelerinde uygulanabilecek müdahale alternatifleri çok yönlü değerlendirmeye alınmaktadır. Müdahale paketleri ve yılların çakışmasından 9 farklı senaryo (S1-S9) elde edilmektedir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Farklı müdahale paketleri ve farklı iklim yıllarından elde edilen senaryo kurgu çerçevesi

Şekil 3.17.'de görüldüğü gibi ilk 3 senaryoda (S1-S2-S3) literatürde kullanımı yaygın müdahale içeriğine sahip Paket 1'in farklı iklim değerlendirmeleri yapılmakta, S4-S5-S6' da yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren Paket 2'nin yıl değişkeni değerlendirilmekte, S7-S8-S9'da ise inovatif, yeni malzemelerin farklı yıl iklim değerlendirmeleri söz konusudur (Şekil 3.17.).

3.8. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Birden çok enerji iyileştirme müdahale paketinin incelendiği mevcut tez çalışmasında çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKV) kullanılmakta, çalışmaya dahil edilen tüm iyileştirme müdahale seçenekleri farklı kriterler kapsamında değerlendirmeye alınmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemi aynı anda birden fazla alternatif çerçevesinde karar verme sorununu çeşitli ve çelişkili kriterlerle karakterize ederek, karar vericilere en iyi durum çözümlerini belirleme tekniği sağlamaktadır (Selvan vd., 2023, 2; Requena-Garcia-Cruz, vd., 2022, 266). ÇKKV yaklaşımı, kullanıcıların karar vericiler olarak görülmesi gerektiğini savunmakta, söz konusu bir dizi seçimin her aşamasında seçilen alternatifin kullanıcıya en uygun potansiyeli, en yüksek kolaylığı ve en iyi versiyonu sağlamayı temel almaktadır (Morag vd., 2024, 1). Bu teze dahil olan tüm iyileştirme paketleri farklı kriterler çerçevesinde değerlendirilmekte ve her pakete ait performans bulguları sunulmaktadır.

Tezin bu bölümünde, paket ve yıl çaprazlamasından elde edilen senaryoların değerlendirmelerine ait tasarım süreci ve değerlendirme kapsamı aktarılmaktadır. Mevcut değerlendirmeye ait alt kriterler (K1-K5) detaylı anlatılmakta ve simülasyon bulguları doğrultusunda senaryo değerlendirmeleri için kurgulanan puantaj yöntemi açıklanmaktadır. Kurgulanan puantaj sisteminde ÇKKV metodunun TOPSIS yaklaşımı kullanılarak senaryolar arası puan dağılımı sağlanmıştır. TOPSIS yaklaşımında öncelikle her bir alternatifin göreceli performansını değerlendirmek için bir dizi ilgili kriter tanımlaması yapılmaktadır. Ardından karar verici tarafından tüm alternatiflerin belirlenen kriterlerce karşılaştırması yapılmakta, oluşturulan kriterlerin alternatifler üzerindeki etkisine sayısal değerler atanmaktadır. Tüm kriterler kapsamında elde edilen sayısal değerlerin sonuç verisi ile alternatifler arasında en pozitif ve en negatif seçim imkanı oluşmaktadır (Caruso vd., 2023, 3). Mevcut tez içerisinde incelenen kriterlerde en yüksek verim değerine sahip senaryo için 3 puan en düşük verim değerine sahip senaryo için 1 puan, bu değerler arasında kalan verim yüzdesine sahip senaryo için ise 2 puan uygun görülmektedir. Dağılım için atanan puanların belirlenmesinde tek öncelik ardışık sayı niteliği taşıması ve iyi-orta-kötü değerlendirmesinin simgelenmesidir, 1-2-3 olarak belirlenmesinin tek sebebi budur. Tablo 3.14., değerlendirme puantaj sistemini görselleştirmekte, x, y ve z bilinmezleri kriter incelemesi doğrultusunda kararlaştırılacak puanları temsil etmektedir.

Tablo 3.14. Değerlendirme puantaj şeması

Senaryo No		S1 (P1.23)	S2 (P2.23)	S3 (P3.23)	S4 (P1.50)	S5 (P2.50)	S6 (P3.50)	S7 (P1.80)	S8 (P2.80)	S9 (P3.80)
Değerlendirme Kriterleri	K1	x	y	z	y	x	z	y	z	x
	K2	y	x	z	x	y	z	x	z	y
	K3	x	y	z	z	x	y	x	y	z
	K4	z	y	x	y	z	x	y	x	z
	K5	x	z	y	z	x	y	z	x	y
Toplam		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9

Tüm kriterlerde uygulanacak puantaj sistemi sonucunda genel değerlendirmede toplam puan sonuçlarına (T1-T9) göre senaryolar arası analiz ve yorumlar niceliksel veriler ile sunulmakta ve böylece yorum içeriği güçlendirilmektedir (Tablo 3.14.).

Üst bölümde aktarıldığı gibi 2 farklı hedef çaprazlaması sonucu elde edilen 9 senaryo oluşumu (Şekil 3.17) yine aynı şekilde hedefler doğrultusunda belirlenecek 2 farklı değerlendirme çerçevesinde incelenmektedir. Farklı değerlendirme çerçeve ihtiyacı, hedefler ve kapsamlar doğrultusunda anlaşılır, net sonuç cümlelerine ulaşılma amacından kaynaklanmaktadır.

3.8.1. Değerlendirme tasarımı 1: Farklı yıl iklim şartlarına göre değerlendirme (D1-D2-D3)

İlk değerlendirme tasarımı, aynı müdahale paketinin farklı yıl iklimlerine adaptasyonunu sorgulamaktadır. Müdahale paketi 1 içerisindeki müdahale içeriklerinin 2023-2050-2080 yıllarına uyumu Değerlendirme 1 (D1) olarak sunulmaktadır. Müdahale paketi 2 için farklı yıl değerlendirmeleri D2'yi, müdahale paketi 3 için farklı yıl iklim değerlendirmeleri D3 değerlendirmesini sunmaktadır (Tablo 3.15.).

Tablo 3.15. Değerlendirme Tasarımı 1'e ait çerçeve

<u>2023</u>	<u>2050</u>	<u>2080</u>	
S1: Paket 1-2023	S1: Paket 1-2050	S1: Paket 1-2080	Değerlendirme-1 (D1)
S2: Paket 2-2023	S2: Paket 2-2050	S2: Paket 2-2080	Değerlendirme-2 (D2)
S3: Paket 3-2023	S3: Paket 3-2050	S3: Paket 3-2080	Değerlendirme-3 (D3)

2023-2050-2080 yıllarına ait iklim verileri için CCWorldWeatherGen V1.9 programı kullanılmıştır (Sustainable Energy Research Group, 2017). CCWorldWeatherGen yazılımı ile elde edilen iklim verileri içerisinde 2023 yılı da yer almaktadır. Bugün ki iklim verilerinin yüklendiği program ara yüzü ile küresel ısınma etkilerini içeren gelecek yıllara ait iklim veri senaryoları hazırlanmakta, yıllık iklim verileri saatlik olarak paylaşılmaktadır. Microsoft Excel tabanlı olan program, günümüzün EPW tabanlı hava durumu dosyalarını kullanarak, çoğu bina performansı simülasyon programı tarafından kabul edilen, EPW ya da TMY2 gelecek yıl hava durumu dosyalarını sunmaktadır. Mevcut tez içerisinde kullanılan Design Builder, Energy Plus programları EPW hava durum dosyasını kabul etmektedir.

CCWorldWeatherGen yazılımına ait Excel tabanlı ara yüz Şekil 3.18.'de paylaşılmaktadır. Günümüz için kabul edilen 2023 hava durumu (EPW yada TMY2 uzantılı) şekil üzerinde 1 numaralı alana yüklenmektedir. Yükleme sonrası geçmiş ya da gelecek yıllara ait hava durumu dönüştürücüsü 2 numaralı alandan gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.18.).

CCWorldWeatherGen climate change weather file generator V1.9

For transforming EPW weather files into climate change TMY2/EPW files. (Acknowledgements & disclaimer of warranties below)

[manual](#)

Specify the HadCM3 data file path:

Summary of combined HadCM3 A2 ensemble climate change predictions for the selected weather site

No scenario selected

			JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Daily mean temperature	TEMP	(°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum temperature	TMAX	(°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Minimum temperature	TMIN	(°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Horizontal solar irradiation	DSWF	W/m²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total cloud cover	TCLW	% points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total precipitation rate	PREC	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative humidity	RHUM	% points	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mean sea level pressure	MSLP	hpa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wind speed*	WIND	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* Please note that wind speed resides on a 96x72 grid whilst all the other data is on a 96x73 grid

EPW weather file selection

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

No weather file selected Latitude: 0.00 N
Longitude: 0.00 E
Elevation: 0 m

HadCM3 scenario timeframe selection

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

☐ 2020's ☐ 2050's ☐ 2080's

Load Scenario

Closest four HadCM3 96x73 grid points to	Latitude:	Longitude:
No weather file selected	A 0.00 N	0.00 E
	B 0.00 N	0.00 E
	C 0.00 N	0.00 E
No scenario selected	D 0.00 N	0.00 E

Şekil 3.18. CCWorldWeatherGen ara yüzü

Farklı yıllara ait hava durumu verilerinin elde edilmesi ve simülasyon programına yüklenmesinin ardından değerlendirme kriterleri oluşturulmuştur. İlk değerlendirme tasarımı dahil olan D1-D2-D3 incelemesi 5 kriter çerçevesinde yürütülmektedir. Kriterler, BS EN 16883 (BSI Standards Development, 2017) standardında yer alan değerlendirme ölçütlerini ve literatürde yer alan bina enerji performansı çalışmalarının değerlendirme kriterlerini referans almıştır. Standart, tarihi yapılarda enerji performans iyileştirmesi çalışmalarındaki kısıt ve fırsatları belirtmekte ve tüm paydaşların dahil olacağı disiplinler arası çalışma platformunda çözüm önerileri sunmaktadır. Vaka özelinde karar verme fırsatı tanıyan standart, esnek bir yöntem kılavuzu sunmaktadır. Standart içerisinde birincil enerji talebi, çevresel sürdürülebilirlik, teknik uyumluluk, binanın miras değeri, ekonomik sürdürülebilirlik, iç mekan termal konforu müdahalelerde değerlendirilmesi gerekli kriterler olarak aktarılmaktadır. Güncel literatürde bina enerji

performans araştırmalarını konu almış çalışmalar içerisinde gerçekleştirilen müdahalelerin performans incelemesine birincil enerji talebi, karbon emisyonu, ısı konfor, geri ödeme süresi kriterleri ile değerlendirilme olanağı sunmaktadır (Roxon vd., 2020; Yang vd., 2023; Attia vd., 2022). Standart ve literatür tespitleri ile birlikte çalışma içerisinde incelemeye alınacak 5 kriter Tablo 3.16'daki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.16. Değerlendirme tasarımı 1 kapsamındaki kriterler

Kriterler	D1-D2-D3 Değerlendirmeleri (Farklı yıl iklim şartlarına göre değerlendirme)
K1	Enerji (Yıllık Enerji Tüketimi)
K2	Karbon Emisyonu
K3	İç Ortam Isıl Konforu
K4	Tarihi Kimlik
K5	Geri deme Planı

D1-D2-D3'n dahil olduğu değerlendirme tasarısı; yıllık enerji tüketimi (K1), karbon emisyonu (K2), iç ortam ısı konforu (K3), tarihi kimlik (K4), geri ödeme süreci (K5) kriterleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. K1-K2-K3-K5 kriterleri simülasyon uygulamasından elde edilen raporlar doğrultusunda nicel veriler üzerine karşılaştırmaya alınmakta, K4 kriteri ise tüzük ve bildirgelerden edinilen dikkat noktalarının literatür kaynakları ile analizini referans almaktadır.

3.8.2. Değerlendirme tasarımı 2: Paket içeriklerine göre değerlendirme (D4-D5-D6)

İkinci değerlendirme tasarımı, aynı yıl içerisinde farklı müdahale paketlerini ve müdahale içeriklerinin örneklem yapı üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. 2023 yıl iklim şartlarına göre örneklem yapı üzerindeki  paketin etki karşılaştırmasını Değerlendirme 4 (D4) sunmaktadır. 2050 iklim şartlarındaki karşılaştırma D5'i, 2080 iklim şartlarındaki karşılaştırma ise D6 değerlendirmesini vermektedir (şekil 3.19.).

Değerlendirme- 4 (D4)	Değerlendirme- 5 (D5)	Değerlendirme- 6 (D6)
<u>2023</u> S1: Paket 1-2023 S2: Paket 2-2023 S3: Paket 3-2023	<u>2050</u> S4: Paket 1-2050 S5: Paket 2-2050 S6: Paket 3-2050	<u>2080</u> S7: Paket 1-2080 S8: Paket 2-2080 S9: Paket 3-2080

Şekil 3.19. Değerlendirme Tasarımı 2'ye ait çerçeve

İkinci değerlendirme paketi kapsamına giren D4-D5-D6 için 5 kriter maddesi belirlenmiştir (Tablo 3.17.). Aynı yıl içerisindeki farklı müdahale paketlerinin örneklem yapı üzerindeki etkisi, yıllık enerji tüketimi (K1), karbon emisyonu (K2), iç mekan ısı konforu (K3), tarihi yapı miras değeri (K4) ve geri ödeme süresi, amorti süreci (K5) kriterleri kapsamında değerlendirilmektedir.

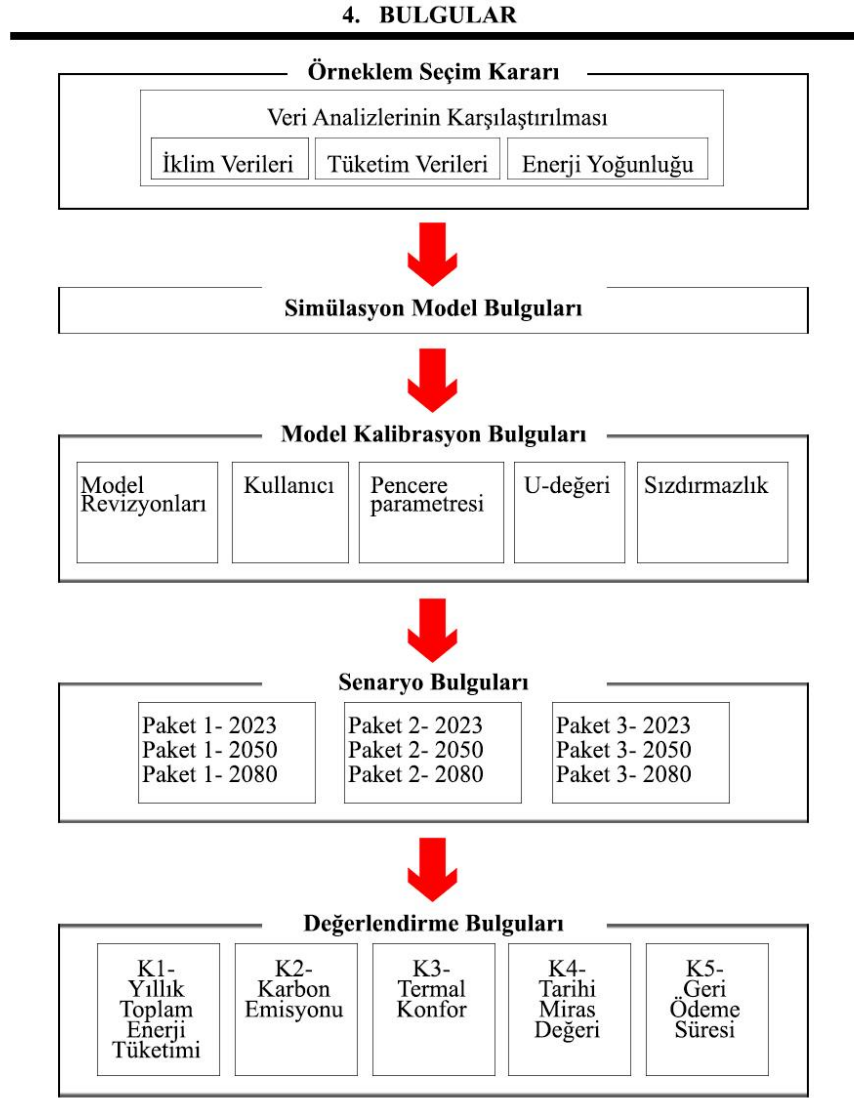
Tablo 3.17. Değerlendirme tasarımı 2 kapsamındaki kriterler

Kriterler	D4-D5-D6 Değerlendirmeleri (Paket içeriklerine göre değerlendirme)
K1	Enerji (Yıllık Toplam Enerji Tüketimi)
K2	Karbon Emisyonu
K3	İç Ortam Isıl Konforu
K4	Tarihi Kimlik
K5	Geri Ödeme Süresi

Tablo 3.16. ve Tablo 3.17. sunumunda görüldüğü gibi Şekil 3.15.'te aktarılan hedefler doğrultusunda, hedefleri besleyecek değerlendirme kriterleri belirlenmekte ve her iki değerlendirme tasarı kriterlerinde ortak kriter seçimleri gerçekleştirilmektedir. Böylece, tüm senaryolar için (S1-S9) ortak ve ayrışan çıkarımlar söz konusu olmaktadır.

4. BULGULAR

Tez çalışmasının yöntem kurgusunda aktarılmış olan alt başlıklı anlatım, bulgular bölümünde de korunmakta, her bir yöntem sonucu elde edilen bulgular ayrı olarak paylaşılmaktadır. Tezin araştırma sırasına göre 6 basamak şeklinde sıralanan bulgular şeması Şekil 4.1.'de görselleştirilmekte ve bölüm, tezin sonuç çıktıları ile tamamlanmaktadır.



Şekil 4.1. Bulgular bölümüne ait akış şeması

4.1. Ön Bulgular: Örneklem Seçimi Karar Süreci

Örneklem yapı karar sürecinde iki tarihi cami üzerinden iklim verileri ve yapı tüketim verileri toplanmakta, elde edilen verilerin analizi sonucu mevcut tez kapsamında çalışılacak örneklem yapı kararı belirlenmektedir.

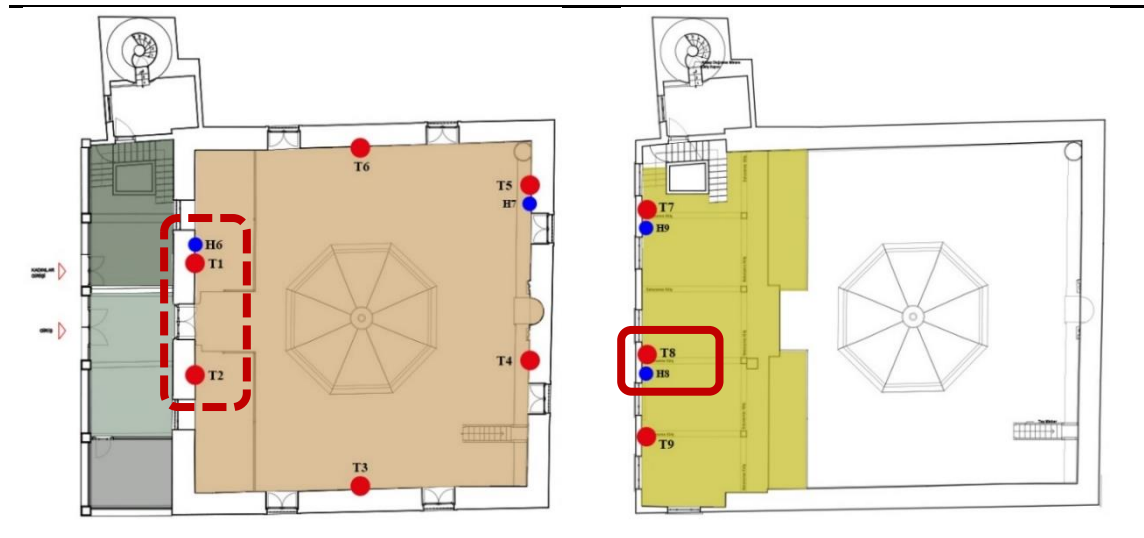
4.1.1. İncelenen yapılarda veri iklim analizi

Bu bölümde iki camiden üç ay süresince toplanmış iç mekan iklim verilerinin incelemeleri sunulacaktır. Camilerin dış mekandaki ısıf farklılıklarına gösterdikleri davranış incelemeleri farklı mahaller üzerinden değerdendirilecek ölçülen iç mekân sıcaklık (°C), iç mekan bağıf nem (%), kullanıcı varlığı (%), aydınlatma elemanlarının açık/kapalı durumları (%) grafik gösterimleri ile aktarılacaktır.

4.1.1.1. Alaeddin Cami verileri

Harim (cemaat bölümü), son cemaat bölümü ve kadın mahfilinden oluşan Alaeddin Cami içersine yerleştirilen 9 adet TESTO sıcaklık-nem veri kaydedicinin 6'sı harim bölümüne 3'ü kadın mahfiline yerleştirilmiştir. Kuzey cephesi cam ile kapatılan son cemaat bölümüne veri kaydedici asılmamıştır (Tablo 4.1.). Tüm cepheleri yığma taş olan harim bölümünün her cephesine ait verilerin toplanması amaçlanmıştır. Harim ve kadın mahfili bölümlerine asılan cihazlarda, farklı katlarda yer alan mekan farkı ve farklı yapı malzemesinin iç ortam iklimindeki davranışı sorgulanmıştır.

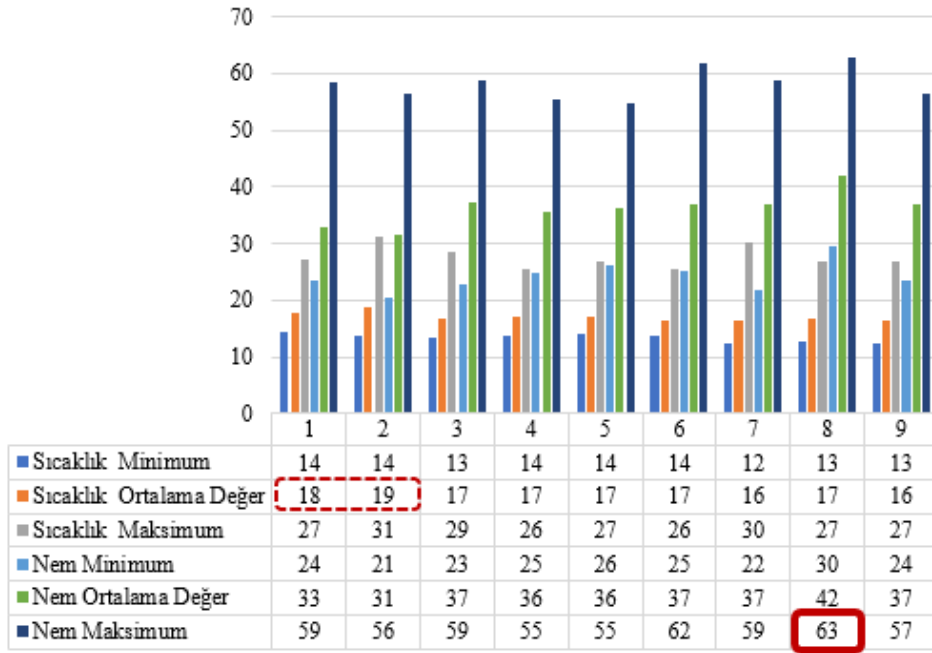
Tablo 4.1. Alaeddin Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları



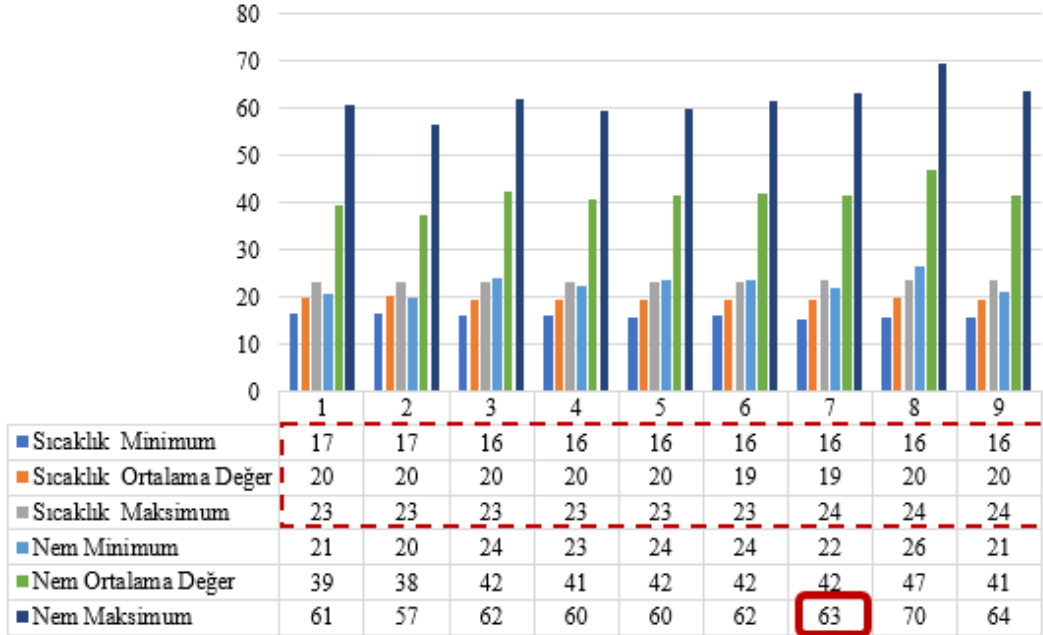
Tablo 4.1. (Devam) Alaeddin Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları

a. Zemin Kat			b. Asma Kat- Kadın Mahfili						
	Harim Bölümü		HOBO UX90-005M Kullanım Süresi/Işık Kayıt Cihazı						
	Kadınlar Girişi		TESTO 174 H Sıcaklık ve Nem veri kaydedici						
	Son Cemaat Bölümü		Kadınlar Mahfili						
	İmam Odası								
			Alaeddin Cami Datalogger						
			Numaraları						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Zemin Kat			T7	T8	T9	H1	H2		
Asma Kat			T7	T8	T9	H3	H4		

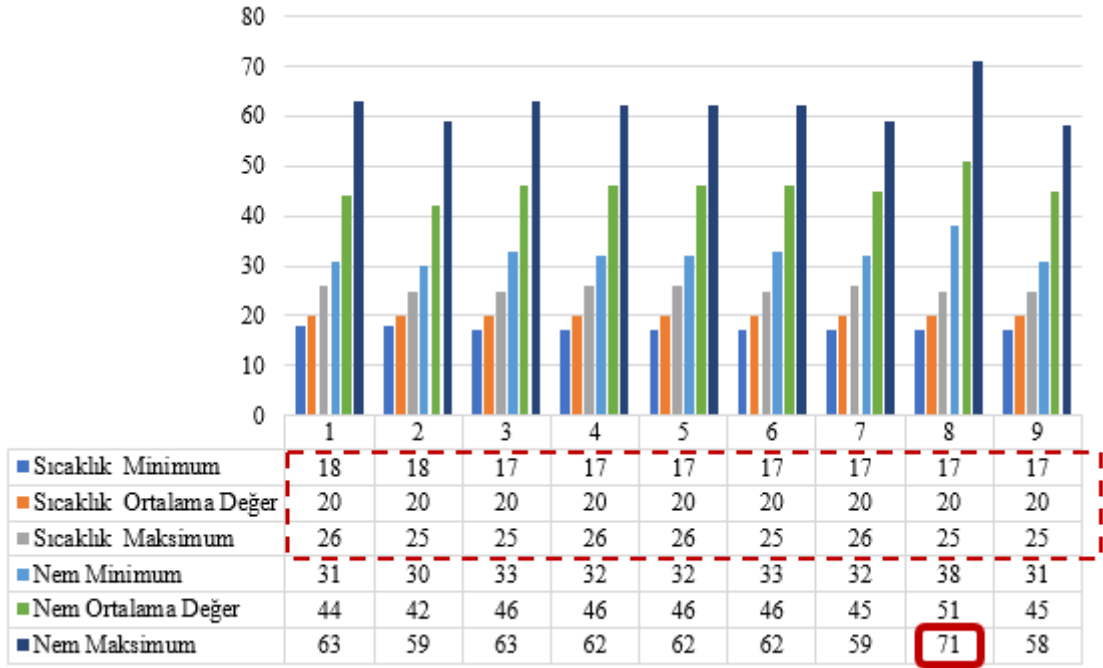
Alaeddin Cami'sinde yer alan TESTO sıcaklık ve nem veri kaydedicilerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.2.-4.3.-4.4'te verilmiştir. Mart ayına ait grafik verisinde sıcaklık ortalamalarının birbirlerine yakın 16-19°C bandında çıktığı görülmektedir. Ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu T1 ve T2 cihazlarının daha yüksek sıcaklık verilerine sahip olması asıldıkları duvarın harim ve son cemaat bölümünü ayıran iç duvar olması kaynaklı yorumlanmıştır (Şekil 4.2.). Nem ortalama değeri en yüksek olan cihaz ise tuğla duvar üzerinde yer almakta ve kadın mahfilinde bulunmaktadır (Şekil 4.2.). Mayıs ve Nisan aylarına ait verilerde ise maksimum sıcaklık değerlerinin Mart ayına göre daha düşük olduğu, minimum sıcaklıkların ise mart ayı verilerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Nisan ve Mayıs ayları arasındaki karşılaştırmada benzer sıcaklık değerleri söz konusu olmakla birlikte Mayıs ayına ait minimum, maksimum değerleri Nisan ayına göre ufak farkla daha yüksektir (Şekil 4.4.). Nisan ayında hava şartları gereği düzenli ısıtmanın sağlanamamasına rağmen ramazan ayı kaynaklı kullanıcı sayısının fazlalığı ortam ısısında etkin olmuştur (Şekil 4.3.). Mayıs ayında camiler ısıtılmamıştır.



Şekil 4.2. Alaeddin Cami Mart ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maksimum, minimum, ort. değer)

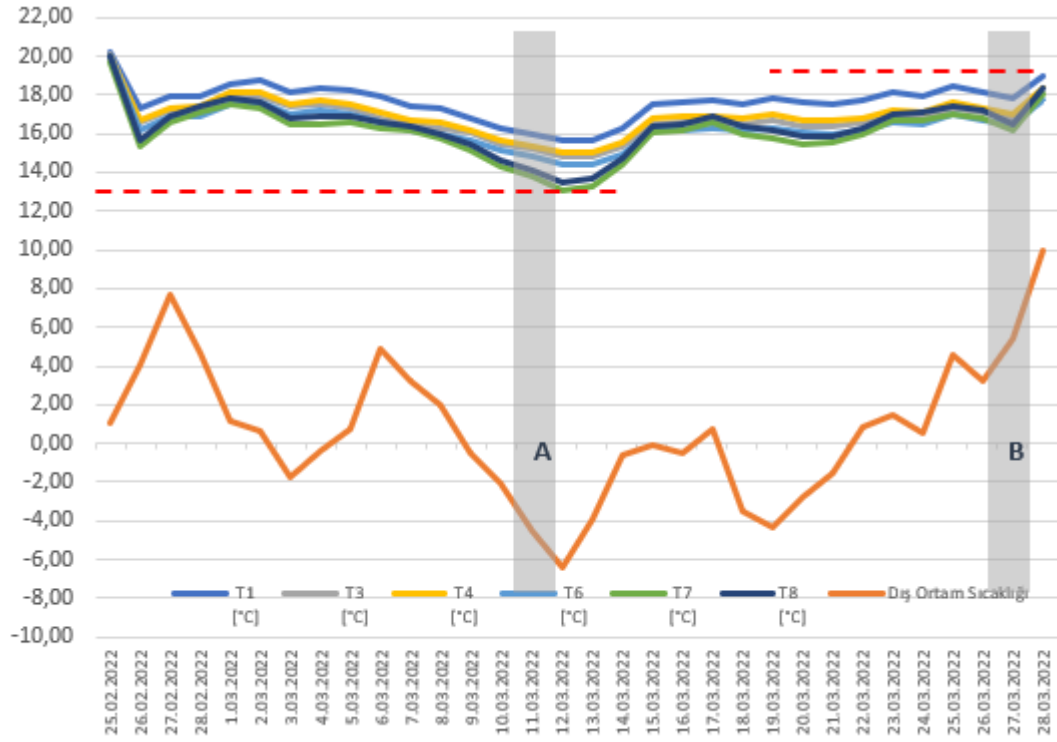


Şekil 4.3. Alaeddin Cami Nisan ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ort. değer)



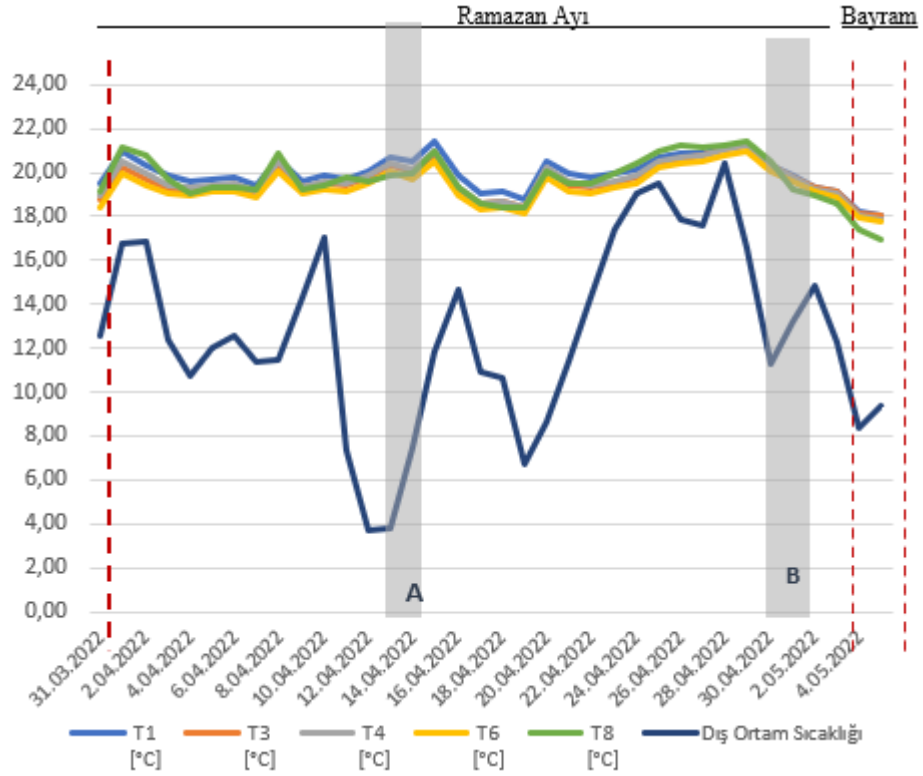
Şekil 4.4. Alaeddin Cami Mayıs ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ort. değer)

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. verilerine ait sıcaklık değerleri camide asılı olan tüm cihazlarda birbiri ile benzer değerler göstermektedir. Nisan ayı ortalama sıcaklık değeri 19-20 °C iken Mayıs ayı verilerine göre ortalama sıcaklık değeri tüm cihazlarda 20 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilerden yapının farklı cephe ve katlarından seçilen mekanların benzer ısı davranış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.3.-Şekil 4.4.). Kadınlar mahfilinde, tuğla duvar üzerinde yer alan T8 cihazı üç ay içerisinde de en yüksek nem seviyelerine ulaşmıştır. Şekil 4.5.'te Mart ayı, Şekil 4.6.'da ise Nisan ayı ve Şekil 4.7.'de Mayıs aylarına ait cami iç hava sıcaklığını ve aynı zaman dilimine denk gelen dış ortam sıcaklığını göstermektedir. Mevcut grafiklerde iç mekana yerleştirilen cihazların genel olarak ortak hareketler sergilediği, Mart ve Nisan aylarında en yüksek sıcaklıklarda hareket eden cihazın T1 olduğu, en düşük sıcaklıklarda hareket eden cihazların ise T7 ve T8 olduğu görülmektedir. Ancak Mayıs sonu verilerinde T7 ve T8 cihazları diğer cihazlara göre en yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir. T1 cihazı, sonradan kapatılmış son cemaat bölümü ile harim bölümünü ayıran yığma moloz taştan oluşan iç duvarda bulunmakta, T7 ve T8 ise kadınlar mahfilinde yer almaktadır (Tablo 4.1.). Mart, Nisan ve Mayıs verilerine göre caminin ısıtıldığı dönemde kadınlar mahfilindeki ortam sıcaklığı diğer mekanlara göre daha düşük bulunmuştur.

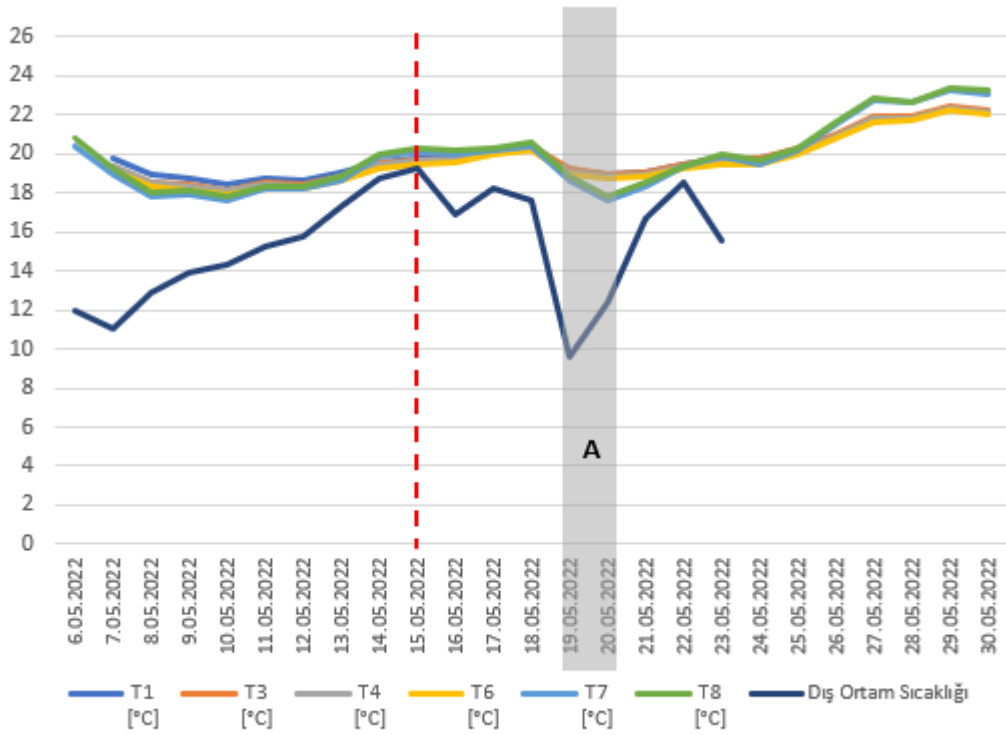


Şekil 4.5. Alaeddin Cami'nde asılı cihazlara ait Mart ayı günlük sıcaklık ortalamalarının karşılaştırması

Mart ayı verilerine göre B sütunu ile gösterilen, iç ortama ait maksimum sıcaklık değeri 28 Mart tarihli güne ait olup 19,1 °C göstermektedir. Aynı zaman diliminde dış ortamdaki sıcaklık değeri de Mart ayına ait en yüksek değeri olan 10 °C'yi göstermiş ve iç ortam ile dış ortam ortak dalgalanma göstermiştir. A ile gösterilen sütun, dış ortamda ve yapı içerisindeki tüm cihazlarda en düşük sıcaklık değerini göstermektedir. Dış ortam değeri -6,4°C iken iç ortam sıcaklığı 13,5 °C ile 15,6 °C değerleri arasında göstermektedir (Şekil 4.5.). Şekil 4.6'da ait Nisan ayı verilerine göre dış ortam ile iç ortam sıcaklık dalgalanmaları aynı ilerlememiştir. Dış ortamdaki en düşük sıcaklık verisinin bulunduğu tarih, 12-14 Mart aralığı olup, 3,7 °C göstermiştir. Aynı zaman aralığında cami iç ortamındaki cihazlar 19,5-19,8°C değerlerini göstermektedir. Yapı içerisindeki en düşük sıcaklık 18,4°C olup 20 Nisan tarihine denk gelmektedir. En yüksek sıcaklıklar dış ve iç ortam için benzer zaman aralığında olup 28-30 Nisan tarihlerine denk gelmektedir (Şekil 4.6.). Ramazan ayının denk geldiği tarihler Nisan ayı ölçümleri ile örtüşmektedir. Mart ve Nisan ayı karşılaştırmasına göre Ramazan ayındaki cami iç sıcaklığı 18-22 °C aralığında dalgalanmıştır.



Şekil 4.6. Alaeddin Cami'nde asılı cihazlara ait Nisan ayı günlük sıcaklık ortalamalarının Karşılaştırılması

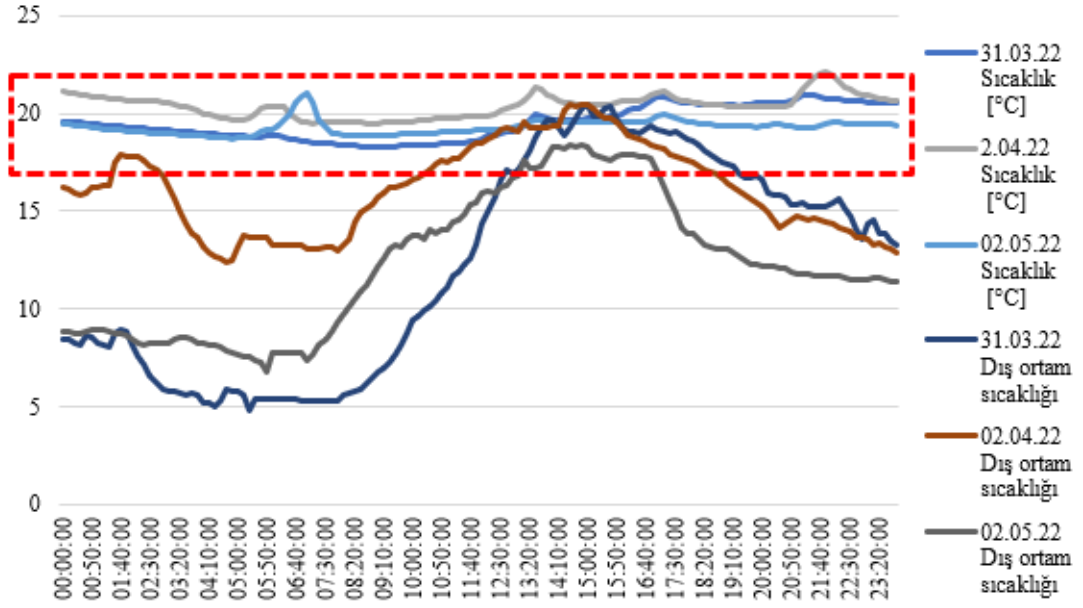


Şekil 4.7. Alaeddin Camiinde asılı cihazlara ait Mayıs ayı günlük sıcaklık ortalamalarının karşılaştırılması

Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ait verilerinde;

- Şekil 4.6.'da Alaeddin Cami'ne ait Nisan ve Mayıs ayı ortalama sıcaklık değerleri tüm cihazlarda Mart ayına göre birbirlerine daha yakın değerler göstermiştir. 2 Nisan-1 Mayıs tarihleri arasına denk gelen ramazan ayı sebebi ile cami içerisinde yoğunluk Mart ayına göre daha fazla olmuş, cami yönetimi tarafından iç ortamdaki sıcaklık dengesi diğer aylara göre daha fazla önemsendiği gözlemlenmiş ve yorumlanmıştır (Şekil 4.6.).
- Mart ayı günlük sıcaklık ortalamalarına göre (Şekil 4.5.) en düşük sıcaklıklarda eğim gösteren cihazlar (T7 ve T8) kadınlar mahfilinde bulunmaktadır. Mart ayı özelindeki değerlendirmeye göre cami içerisindeki asma kat sıcaklık verilerinin günlük ortalamaları diğer cihazlara göre daha düşük bulunmuştur.
- Mayıs ayı grafiğinde T7 ve T8 cihazları diğer cihazlara göre daha farklı dinamikte çalışmakta ve kadınlar mahfilinde asılı bulunan iki cihaz hareketleri birbirleri ile eşdeğer tavır sergilemektedir. Dış ortamdaki sıcaklık artış ve düşüşlerinde diğer cihazlara göre daha belirgin tavır sergilemektedirler. A ile gösterilen sütuna denk gelen Mayıs ayına ait en düşük dış ortam sıcaklık verisine iç ortamda en yakın değerler T7 ve T8 cihazlarına ait bulunmuştur (Şekil 4.7.).
- Farklı cephelere asılan T3 (batı cephesi), T4 (güney cephesi) ve T6 (doğu cephesi) cihazlarının karşılaştırmasında önemli farklar görülmemekte, cihazlardan alınan veriler benzer hareketler sergilemektedir (Şekil 4.5.-Şekil 4.6.-Şekil 4.7.).

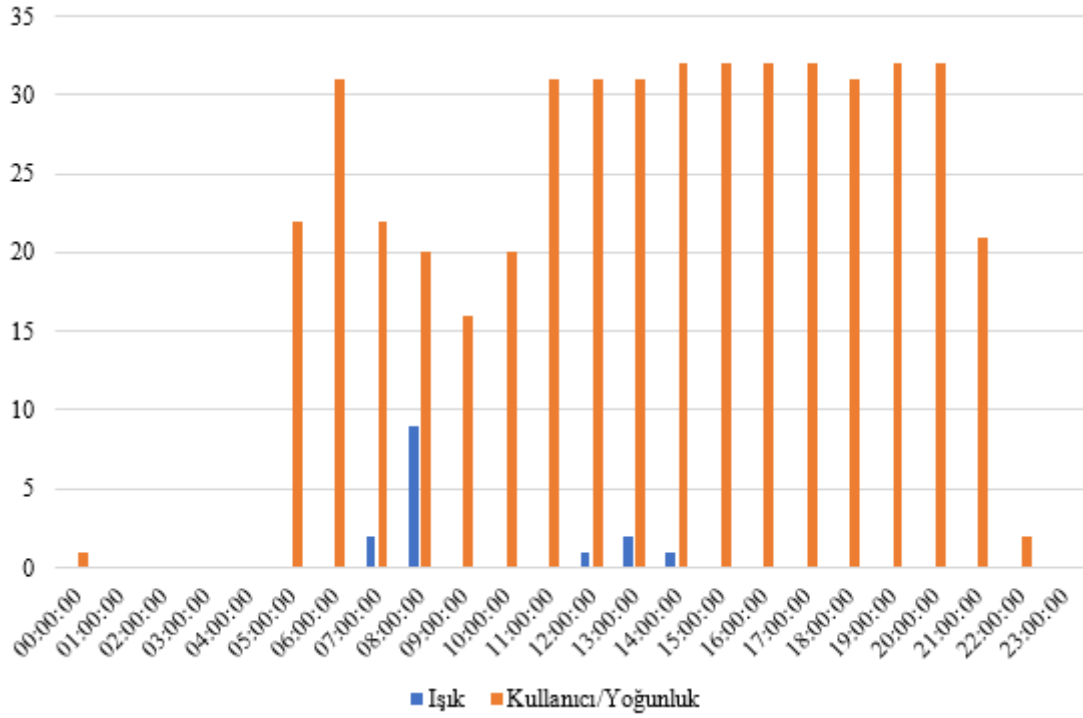
Alaeddin Camiine asılan cihazlar birbirleri ile benzer dalgalanmalar göstermektedir. Bu nedenle cihazlardan rastgele bir tanesinin farklı tarihlerdeki günlük değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan tarihler 31 Mart, 2 Nisan ve 2 Mayıs olarak seçilmiştir. Bu tarihlerin seçilmesinde Ramazan ayından önce, Ramazan ayı içerisinde ve bayramda iç ortamdaki sıcaklık durumunun algılanması amaçlanmıştır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. T1 Cihazının üç farklı tarihteki ısı davranışı

Belirlenen üç günde de camideki sıcaklık 19,5°C ile 21°C arasında dengeli ilerlemiştir. Üç tarihe ait dış sıcaklık verilerinin de paylaşıldığı grafikte en düşük ve en yüksek dış ortam sıcaklık değerlerinin görüldüğü zamanlarda iç ortam sıcaklığı benzer değerleri korumuştur (Şekil 4.8.).

Şekil 4.5.'te camiye ait sıcaklık verileri paylaşılmıştır. Ölçüm yapılan tarih aralığında cami içerisindeki ışık kullanımı ve kullanıcı yoğunluğu takibi yapılmıştır. HOBO UX90-005 kullanımı ile dakikalık ritimde toplanan veriler içi cami içerisinde 4 adet veri kaydedici kullanılmıştır. 2 tanesi zemin kat harim bölümünde 2 tanesi kadınlar mahfiline yerleştirilmiştir. Harim bölümünde yer alan H6 numaralı veri kaydediciye ait Mart ayı verileri Şekil 4.9.'dadır. Elde edilen veriler doğrultusunda ışık kullanımında yetersizlik saptanmıştır (Şekil 4.9.).



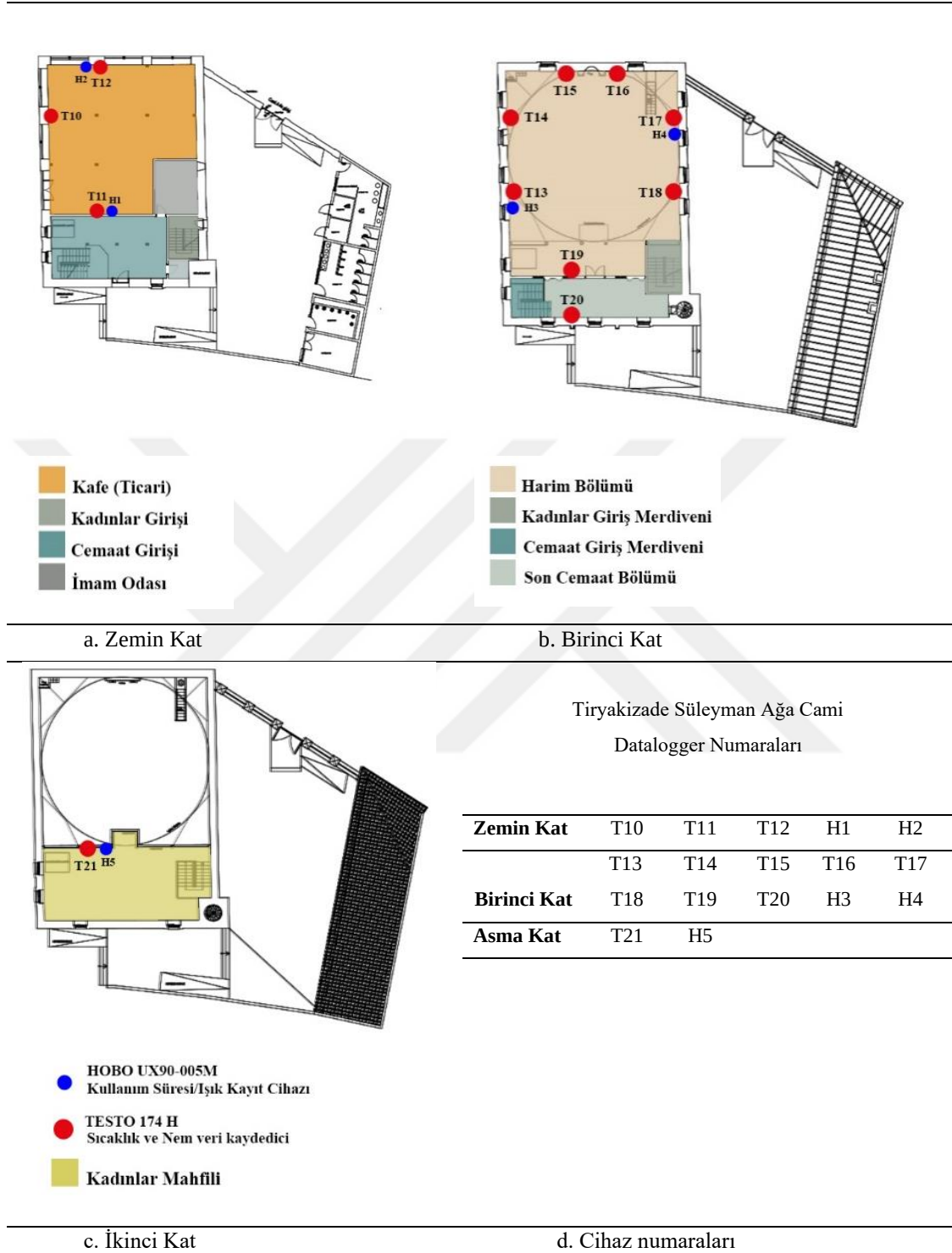
Şekil 4.9. H6 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı verileri

Sabah saat 5:00'da cami cemaatinin camiye girdiği ve kullanımın 22:00'a kadar devam ettiği görülmektedir. Mevcut grafik kullanıcı yoğunluğunu belirtmemektedir. Camide cemaatin varlığını belirten grafik aylık sonuçları belirtmekte olup Mart ayı boyunca günün aynı saatlerinde kullanıcı varlığını görselleştirmektedir. 30 gün boyunca en sık kullanıcının bulunduğu saatler 15:00-18:00 ve 20:00-21:00 aralıkları olarak bulunmuştur (Şekil 4.9.).

4.1.1.2. Tiryakızade Süleyman Ağa Cami verileri

Zemin katında Kırathane isimli kafe bulunan caminin harim ve son cemaat bölümü birinci katta yer almaktadır. Cami ile ayrı ısıtma sistemine sahip olan kafeye 3 adet sıcaklık-nem veri kaydedici yerleştirilmiştir. İki tanesi cami ve kafenin cephe aldığı cadde ve yola bakan duvarlarda bir tanesi de cami ile ortak kullanılan iç duvarda konumlandırılmıştır. Birinci katta yer alan cami bölümlerinin harim bölümünde 7 adet, son cemaat bölümünde 1 adet ve asma katta yer alan kadın mahfilinde ise 1 adet sıcaklık-nem veri kaydedici bulunmaktadır (Tablo 4.2.).

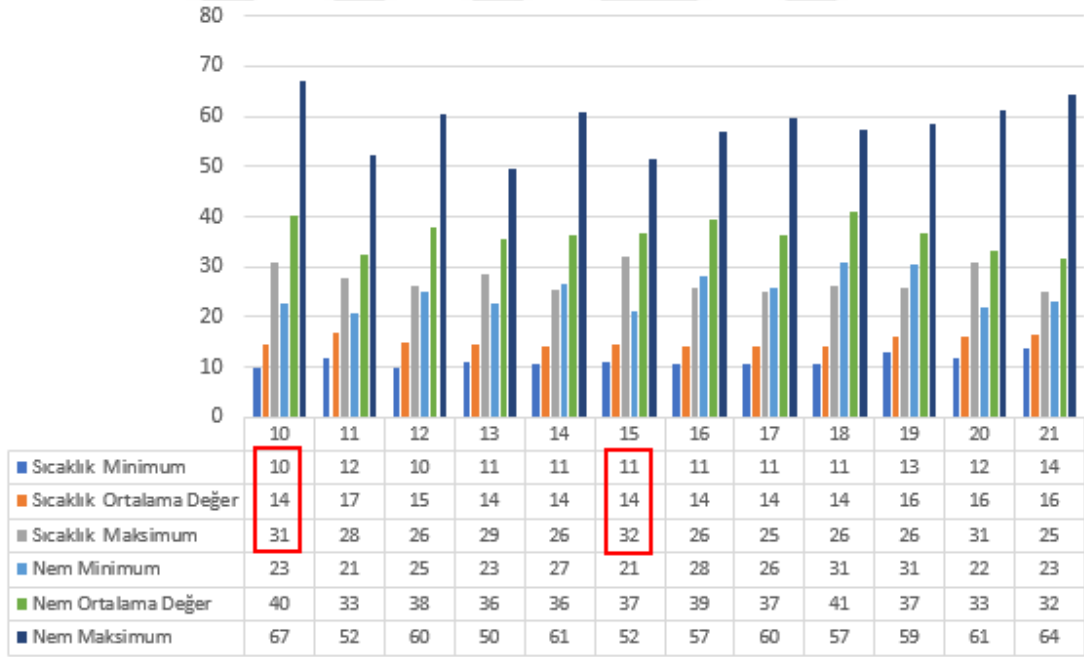
Tablo 4.2. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'ye asılan veri kaydedicilerin lokasyonları



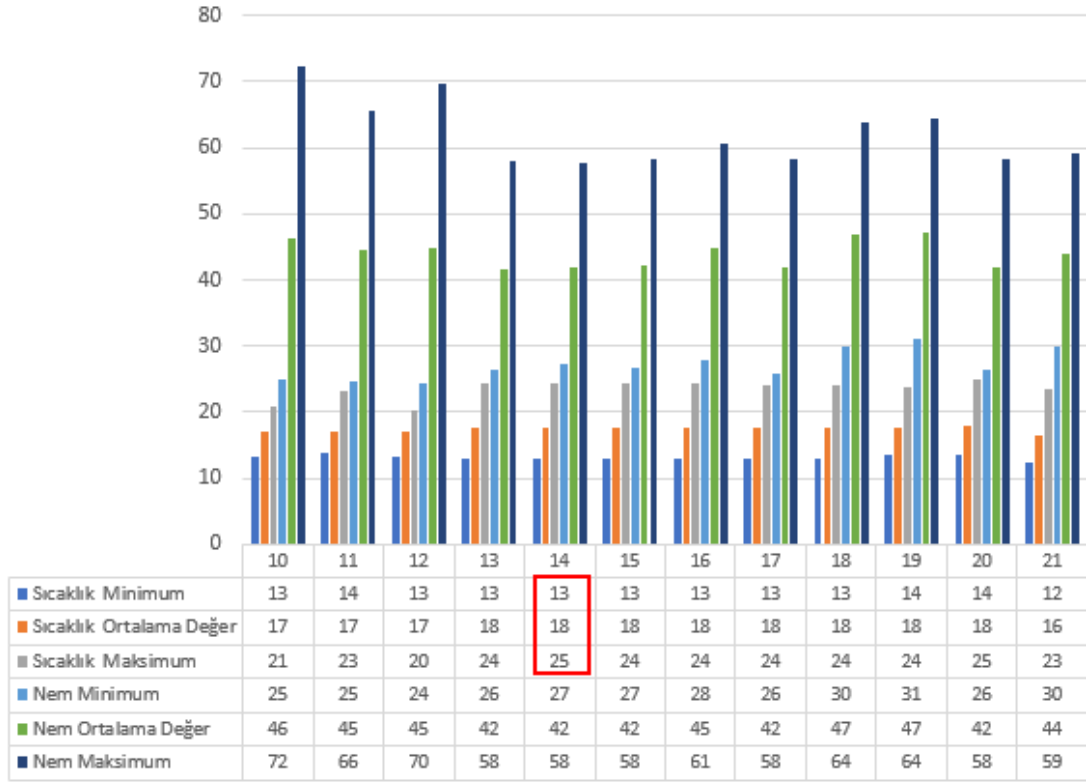
Koruma kurulundan elde edilen verilere göre kafenin ve cami giriş bölümünün bulunduğu zemin kat yığma moloz taş, üst katlar ise hımmış sistem arasına taş donatı şeklinde kurgulanmıştır. Aynı malzeme ile farklı yapım sistemleri uygulanan Tiryakizade Süleyman Ağa Cami binasına ait veriler aşağıdaki grafiklerde aktarılmıştır. Kafe ve cami

olmak üzere farklı fonksiyonlara sahip Tiryakizade Süleyman Ağa Cami binası, farklı kullanıcı kesimi ve farklı kullanıcı yoğunluklarına sahiptir. Tüm binaya toplamda 12 adet TESTO sıcaklık ve nem veri kaydedicileri, 5 adet HOBO kullanıcı yoğunluğu ve ışık kullanım süresi veri kaydedicileri yerleştirilmiştir (Tablo 4.2.). Aynı yapı malzemesi ile oluşan farklı katlardaki fonksiyonların dış ortam sıcaklığına karşı davranışı araştırılmıştır.

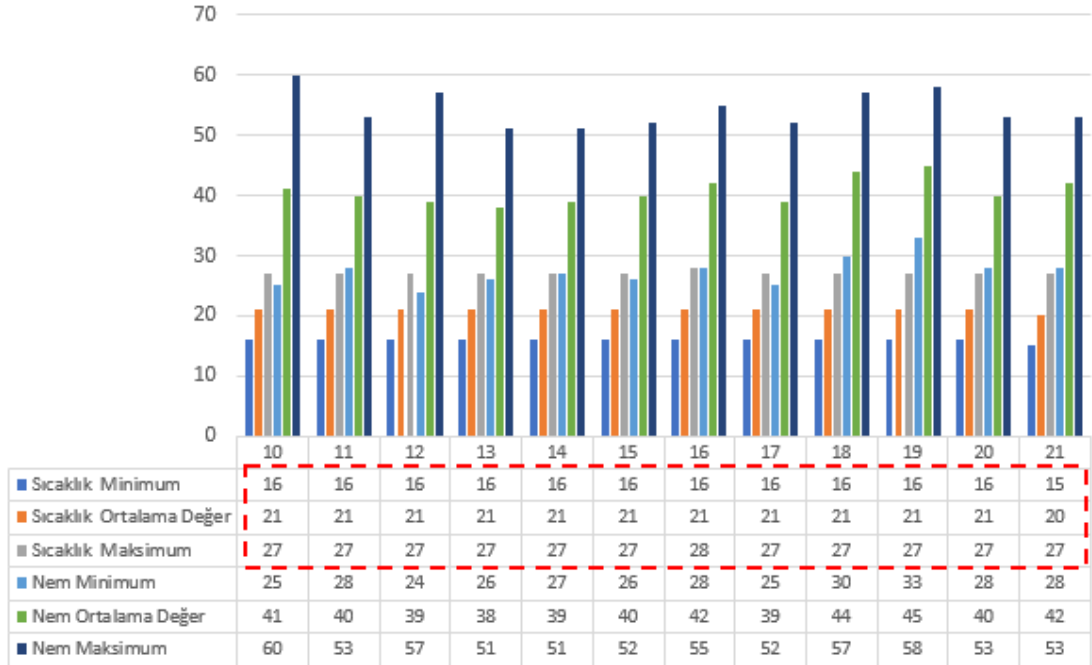
Bununla birlikte ayırık nizama sahip olan binanın tüm cephelerinden alınan veriler karşılaştırmalı olarak sunulmuş, farklı mekanlarda yer alan cihaz verileri grafik yöntemi ile aktarılmıştır. Mart, Nisan ve Mayıs aylarındaki cihazlara ait aylık ortalamalar, Şekil 4.10., 4.11., 4.12.'de sıcaklık ve nem verileri olarak verilmiştir. Ortalama sıcaklık verileri birbirleri ile benzer ilerlemekte olup cihazlar arasındaki fark en fazla Mart ayına ait grafiğe yansımaktadır. Mart ayında cihazların maksimum-minimum sıcaklık farkları diğer aylara göre daha fazladır. Minimum ve maksimum değerler arasında en büyük fark tespit edilen cihazlar T10 ve T15'tir (Şekil 4.10.). Cihazlar arasında birbirlerine en yakın sıcaklık ve nem ölçümleri Mayıs verilerindedir (Şekil 4.12.).



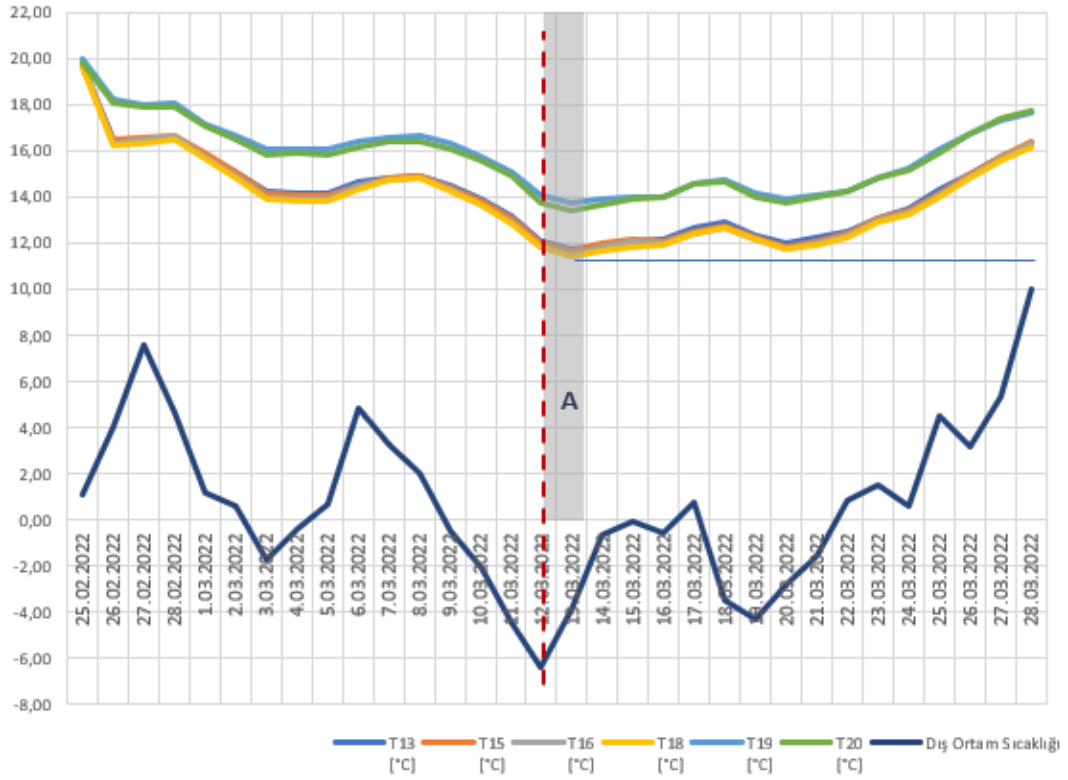
Şekil 4.10. Tiryakizade Cami Mart ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ort. değer)



Şekil 4.11. Tiryakızade Cami Nisan ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ort. değer)



Şekil 4.12. Tiryakızade Cami Mayıs ayına ait tüm cihazların sıcaklık ve nem verileri (aylık maks., min., ort. değer)



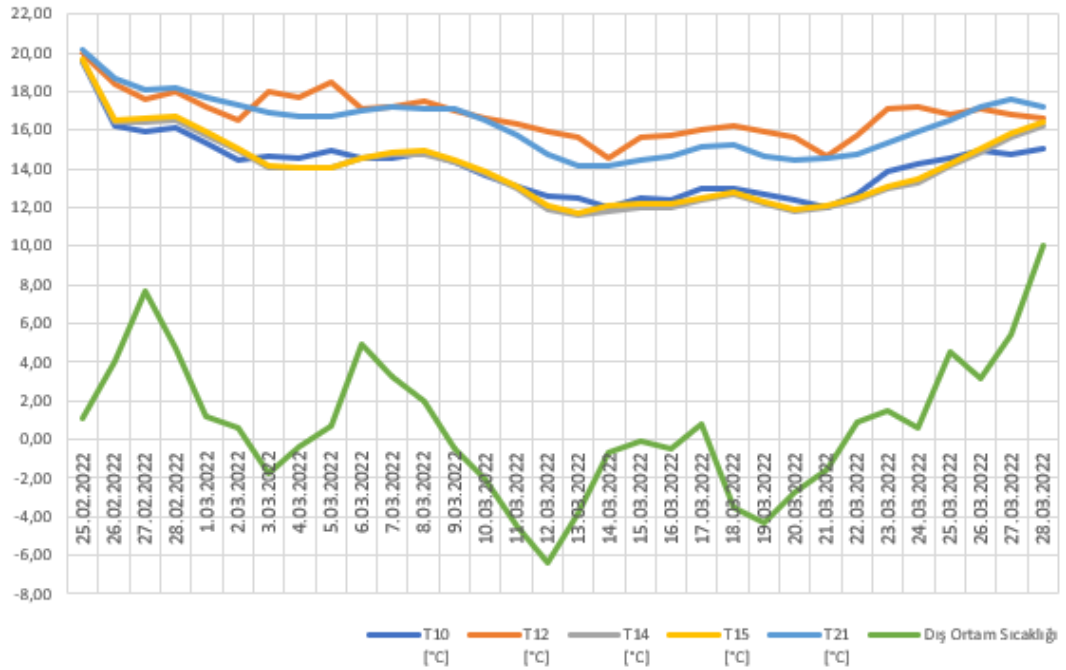
Şekil 4.13. Tiryakızade Süleyman Ağa Camiinde asılı cihazlara ait Mart ayı günlük sıcaklık ortalamalarının karşılaştırılması

Dış ortam sıcaklığının $-6,4^{\circ}\text{C}$ ile en düşük sıcaklık verisi A sütunu ile gösterilen alana denk gelen 12 Mart günü kaydedilmiştir (Şekil 4.13.). Şekil 4.13. grafiğinde karşılaştırması sunulan cihazlar birinci katta yer alan harim ve son cemaat bölümlerindeki cihazları kapsamaktadır. Dört farklı cepheden alınan verilerin karşılaştırmasında (T13-T15-T16-T18) benzer davranış görülmektedir. Diğer cihazlara göre daha yüksek sıcaklık verisi sunan T19 ve T20 cihazlarının asıldıkları noktalar kapı ve pencere üstü ahşap pervaz üzerine denk gelmektedir. İki cihaza ait yüksek sıcaklık değerleri, cephe farklılığı (kuzey cephe) ve malzeme farklılığı olarak yorumlanabilmektedir.

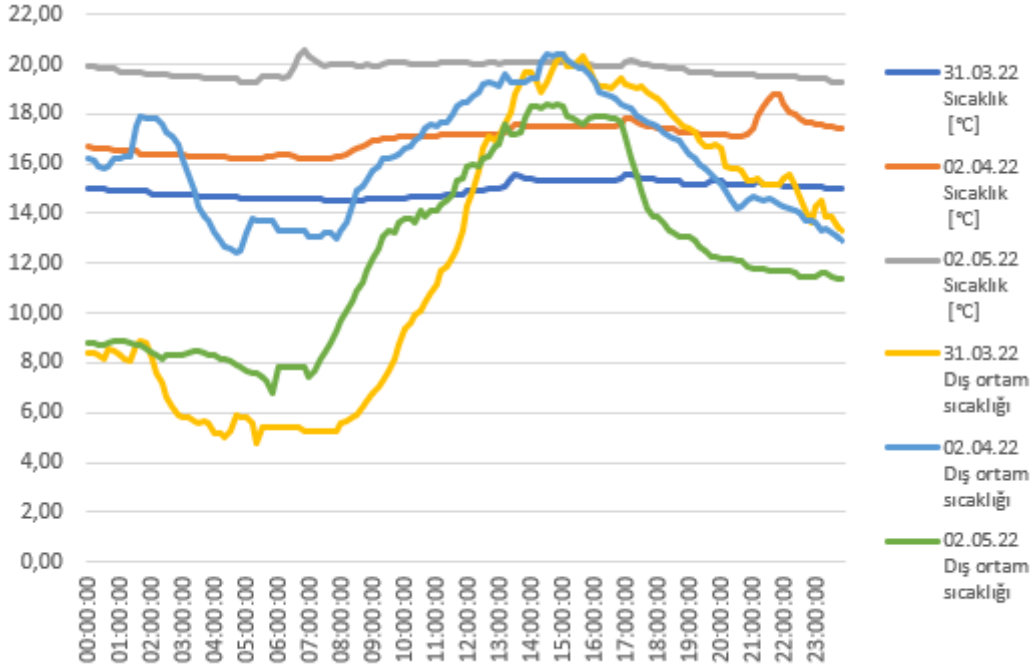
Farklı katlarda yer alan kafe ve cami bölümlerine asılmış cihazların veri karşılaştırması Şekil 4.14.'te yapılmıştır. T10 ve T12 cihazları kafe bölümünün doğu ve güney cephelerinde yer almaktadır. T14 ve T15 cihazları birinci katta yer alan harim bölümünün doğu ve güney cephelerinde bulunmaktadır. T21 ise kadınlar mahfilinde dış duvara temas etmeyen bir noktada yer almaktadır (Tablo 4.2.). Grafik verilerine göre en yüksek sıcaklık verisi kafenin güney cephesinde yer alan T12 cihazına aittir. Zemin kat ve birinci kat güney cephesine yerleştirilmiş T12 ve T15 verileri arasında ciddi farklar

gözlenmektedir. Aynı ısıtma sistemine bağlı olan iki mekânın güney cephelerinde görülen ciddi davranış farklılığı (T12 ve T15), iki mekana ait doğu cephelerinde aynı ciddi farkla görülmemektedir. Zemin kat doğu cephesindeki T10 ve birinci kat doğu cephesindeki T14 cihazları birbirlerine yakın ısı davranışlar sergilemektedir (Şekil 4.14.).

Şekil 4.13. grafiğinde görüldüğü gibi Tiryakızade Cami harim bölümünde yer alan cihazlar birbirleri ile benzer hareket etmektedir. Bu nedenle içlerinden bir tanesinin üç farklı tarihteki dış ortama göre davranışı Şekil 4.15.'te araştırılmıştır. Ramazan ayı öncesi, ramazan ayı ve bayrama denk gelen günlere yönelik aynı cihaz üzerinde günlük değerlendirmeler yapılmıştır.

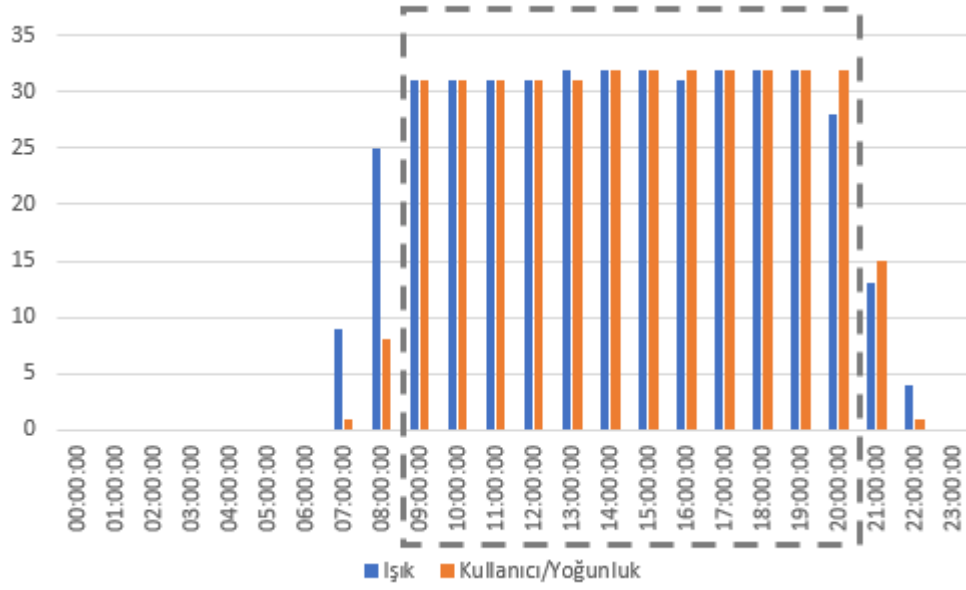


Şekil 4.14. Tiryakızade Süleyman Ağa Camiinde farklı katlarda asılı cihazlara ait Mart ayı günlük sıcaklık ortalamalarının karşılaştırılması

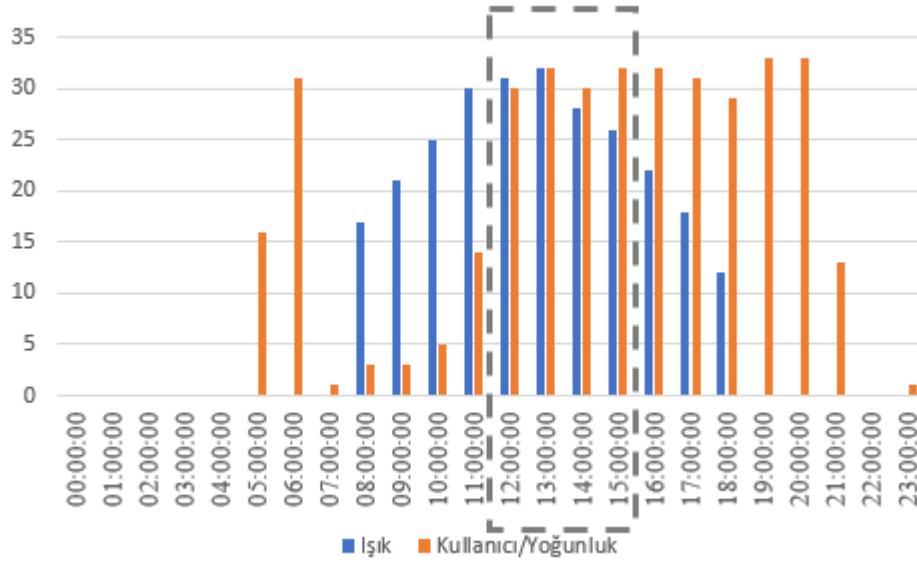


Şekil 4.15. T15 Cihazının üç farklı tarihteki ısı davranışı

T15 cihazı en yüksek sıcaklık değerlerini 2 Mayıs tarihinde, Ramazan Bayramı'nda göstermiştir. Gün boyu dışarıdaki sıcaklığın üstünde değerlere sahip olmuştur. Ramazan ayının öncesine dair ele alınan 31 Mart tarihli veriler belirlenen tarihler arasında en düşük iç ortam sıcaklığına sahiptir. 12:00 öğle vakitleri ile 22:00 akşam vakitleri arasında dışarıda ölçülen sıcaklık değerleri iç ortamın üzerinde seyretmiştir. Aynı şekilde 2 Nisan tarihinde saat 10:00-18:00 arasında cami içerisindeki sıcaklık dışarıya göre daha soğuk bulunmuştur (Şekil 4.15.). Alaeddin Cami yapısında, kafe içerisinde 2 cami içerisinde 3 adet HOBO ışık ve kullanıcı yoğunluğu veri kaydedici bulunmaktadır. Kafede (Şekil 4.16.) ve cami (4.17.) içerisindeki ışık ve kullanıcı takibi ayrı olarak yapılmış ve paylaşılmıştır.



Şekil 4.16. H2 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı yoğunluğu verileri



Şekil 4.17. H3 (HOB0) cihazının ışık ve kullanıcı yoğunluğu verileri

Şekil 4.16.'da verileri paylaşılan H2 numaralı datalogger cami yapısının zemin katında bulunan Kırathane'de yer almaktadır. H3 cihazı ise birinci katta yer alan harim bölümünde bulunmakta ve cami içi ve cemaatinin verilerini sunmaktadır (Tablo 4.2.). Kafeye ait veriler camilere at verilere göre daha düzenli bulunmuştur. Mart ayı süresince sabah 9:00 ile akşam 20:00 aralığında aynı ritimde ışık kullanımı ve kullanıcı varlığı verileri tesit edilmiştir. Kafenin açılış ve kapanış saatlerine uyumlu sonuçlar veren veri

içerisinde erken açma ve geç kapatmaya bağlı 9:00 öncesi ve 20:00 sonrası saatlerde de kullanım sonuçlarına erişilmiştir (Şekil 4.16.).

H3 numaralı cihaz verilerine göre cami kullanımı sabah 5:00'da başlamasına rağmen veri kaydedicinin algılayacağı aydınlatma düzeyi sabah 8:00 gibi başlamaktadır. Sabah namazına gelen cemaat sayısının az olmasından kaynaklı aydınlatma düşük seviyede tutulduğu düşünülmektedir. Doğal aydınlatmanın etkisi ile 8:00 ile başlayan cihaz algısı 18:00'a kadar sürmektedir. Yatsı namazı vakitlerinde ışık verisine ulaşılammış olması cami içerisindeki aydınlatmanın gücünün düşük olduğu yorumunu ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.17.).

4.1.2. İncelenen yapılara ait doğalgaz ve elektrik tüketimleri

Alaeddin Cami ve Tiryakızade Süleyman Ağa Camilerinin elektrik faturaları müftülük tarafından karşılanırken doğalgaz ve su faturaları cami derneği tarafından karşılanmaktadır. Bu nedenle elektrik faturalarına Eskişehir Odunpazarı Müftülüğünden, doğalgaz faturalarına ise camilerin dernek başkanlarından erişilmiştir.

4.1.2.1. Alaeddin Cami tüketim verileri

İki camiye ait iç ortam sıcaklık değerleri incelendiğinde ortak tarihler arasında Alaeddin Camideki cihazların daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. İki cami karşılaştırmasında daha sıcak iç ortama sahip Alaeddin Cami halı altı ısıtma sistemi ile ısıtılmaktadır. Sistem için gerekli sıcak su cami karşısında bulunan SGK İl Müdürlüğü binasından temin edilmektedir (Şekil 4.18.).



Şekil 4.18. Alaeddin Cami ve SGK İl Müdürlüğü konumları

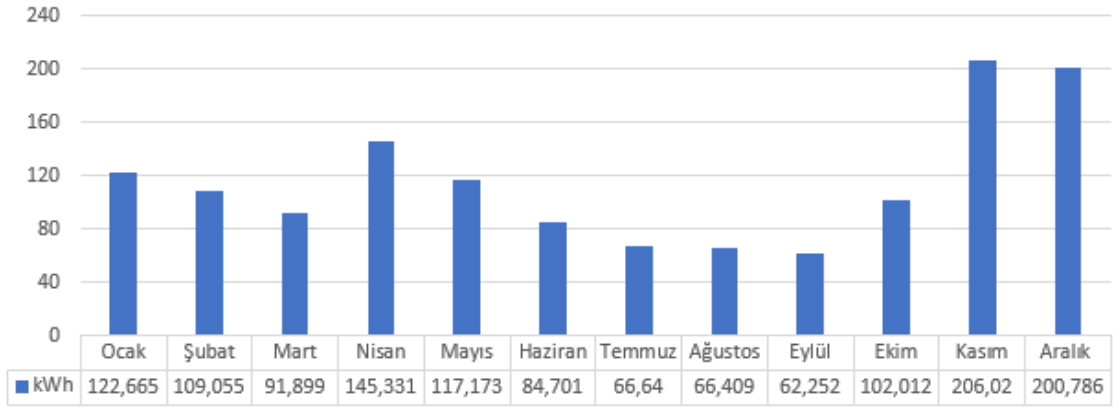
Geçmiş yıllarda SGK ve müftülük arasında yapılan anlaşma, caminin ısıtmasının SGK tarafından sağlanacağı, cami için çıkarılan ödeme planına göre Alaeddin Cami derneğinin ödemeyi SGK İl Müdürlüğü'ne yapacağı şeklinde kurgulanmıştır. SGK İl Müdürlüğü ile yapılan görüşmede, caminin ayrı bir sayacının olmadığı bu nedenle ödeme planının cami ve SGK binasının metrekare bazında oranlamasına göre hesaplandığı belirtilmiştir. SGK' dan temin edilen temsili hesap şablonu Şekil 4.19.'da paylaşılmıştır.

Şekil 4.19. SGK İl Müdürlüğü tarafından Alaeddin Cami için hesaplanan ödeme planı

Şekil 4.19. SGK İl Müdürlüğü tarafından Alaeddin Cami için hesaplanan ödeme planı

15.10.2020 ile 30.06.2021 tarihleri arasında SGK ve Alaeddin Cami için kullanılan doğalgaz sarfiyatı 127.030 m³'tür. Evrak üzerindeki bilgilere ve SGK'da yapılan görüşmelere göre cami metrekaresine göre belirlenen oran 8,94% bulunmuştur. Buna yönelik belirtilen orana göre belirtilen tarih aralığında Alaeddin Cami için kullanılan toplam sarfiyat 11.356,482 m³'tür. Ay bazında hesaplama yapmak eldeki verilere göre mümkün olmamış, toplam rakama erişilebilmiştir.

Alaeddin Camine ait elektrik faturaları Odunpazarı müftülüğünden temin edilmiştir. 2021 yılına ait faturalara göre en yüksek enerji tüketim bedeli Kasım ve Aralık aylarına aittir (Şekil 4.20.).

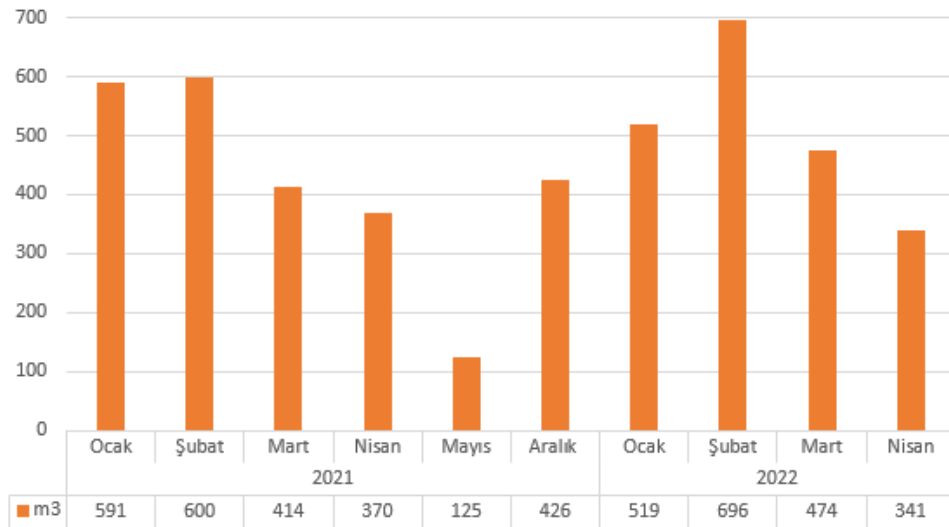


Şekil 4.20. Alaeddin Cami 2021 yılı elektrik tüketim verileri

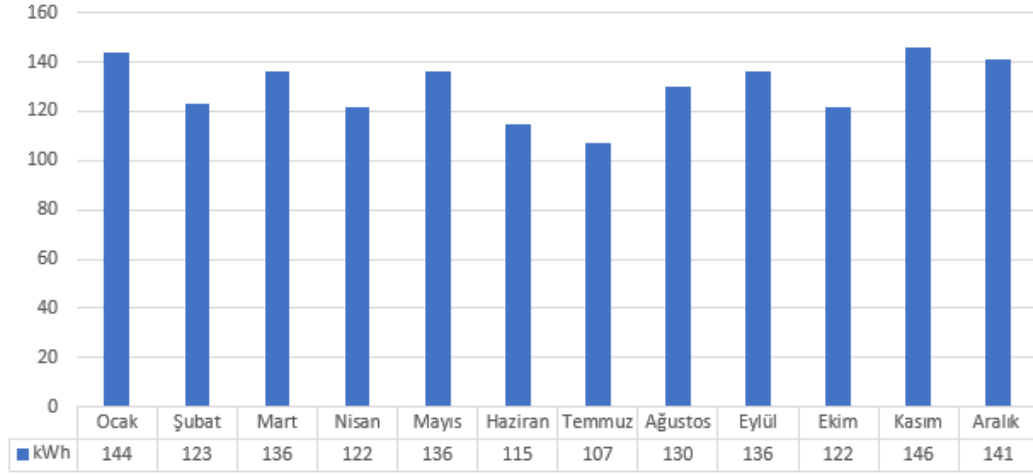
4.1.2.2. Tiryakızade Süleyman Ağa Cami tüketim verileri

Tiryakızade Süleyman Ağa Cami dernek başkanından elde edilen doğalgaz faturaları 2021-2022 yıllarını kapsamaktadır. 2021 yılına ait 6 aylık toplam sarfiyat 2.526 m³'tür. En yüksek tüketim rakamları 2021 yılı için Ocak ve Şubat iken 2022 yılında Şubat ayı en yüksek tüketime sahip olmuştur (Şekil 4.21.).

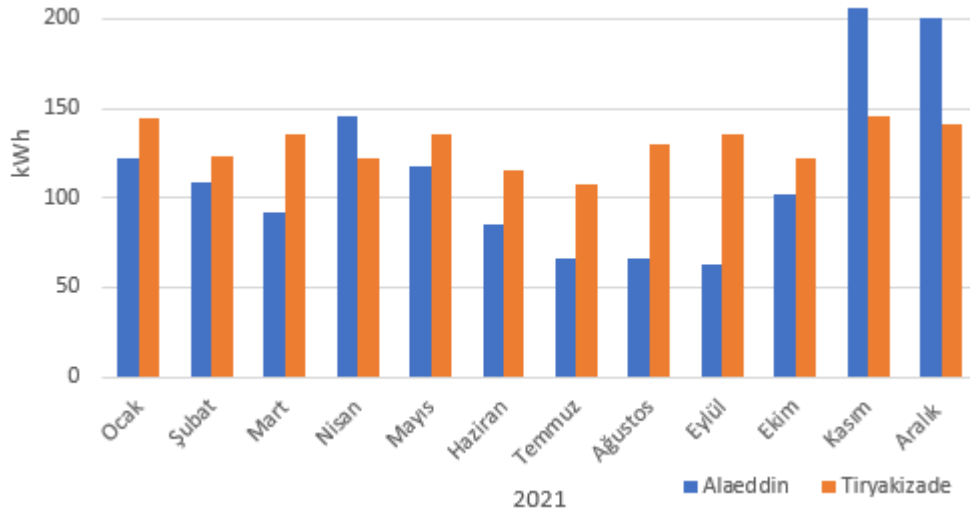
Müftülükten temin edilen Tiryakızade Süleyman Ağa Cami 2021 elektrik faturalarına göre yıl boyu tüketilen enerji 100-140 kWh aralığındadır. En yüksek tüketim Kasım, Aralık ve Ocak aylarında olmuştur. Alaeddin Camiine göre tüketim daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.22.).



Şekil 4.21. Tiryakızade Süleyman Ağa Cami 2021 yılı doğalgaz verileri



Şekil 4.22. Tiryakizade Süleyman Ağa Cami 2021 yılı elektrik tüketim verileri



Şekil 4.23. İki camini 2021 yılı elektrik tüketim karşılaştırması

Alaeddin ve Tiryakizade camilerine ait elektrik faturalarında yer alan enerji tüketimleri 2021 yılı verilerine göre karşılaştırılmıştır (Şekil 4.23.). Alaeddin Camine ait en yüksek tüketim ile en düşük tüketim arasında 142 kWh fark bulunmaktadır. Kış aylarındaki tüketim artışı en çok Kasım ve Ocak aylarında gözlenmiştir. Tüketimi daha dengeli ilerleyen Tiryakizade Cami için tüketim dalgalanmalarında mevsimsel farklılık gözlenmemiştir.

4.1.3. Yapı enerji yoğunluklarının karşılaştırmalı analizi

Enerji yoğunluğu, birim hacim başına hesaplanan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Enerji verimliliğinin önemli bir göstergesi olan enerji yoğunluk hesabında, yoğunluk ne kadar düşük ise enerjinin verimli kullanımı sonucu elde edilmektedir (Doğan ve Yılankırkan, 2015, s.379). Mevcut çalışma içerisinde iki cami için de birim hacim başına düşen enerji miktarları kWh ve m³ cinsinden hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Şekil 4.20. ve Şekil 4.22.'de sunulmuş olan 2021 yılı elektrik fatura verilerine göre camilere ait yıllık toplam tüketim verileri ve toplam hacim değerlerine (m³) göre enerji yoğunluk hesabı Tablo 4.3.'te aktarılmıştır. Alaeddin Cami için elektrik faturalarından elde edilen yıllık toplam tüketim 1.375 kWh iken Tiryakizade Süleyman Ağa Cami için toplam tüketim 1.558 kWh'tir.

Doğalgaz faturalarına yönelik yapılacak hesap için Şekil 4.19. ve Şekil 4.21.'de paylaşılan tüketim verileri değerlendirmeye alınmıştır. Alaeddin Cami için geçerli olan SGK binası ile ortak kullanım durumuna yönelik Şekil 4.19.'da sunulan 8,94'lük pay üzerinden hesaplama yapılmış ve cami için tüketim değeri elde edilmiştir. Rapor üzerinde yer alan m³ verilerinin gerekli açıklık ve tutarlılık sağlamaması sebebi ile rapor üzerinde belirtilen 4 ay tam ve 2 ay 50% kapasiteli ısıtma sonucuna karşılık gelen TL üzerinden hesaplamalar yürütülmüştür. Bu durum Tiryakizade Cami için de aynı aylara karşılık gelen ödenecek rakam üzerinden ele alınmıştır.

Tablo 4.3. Camilere ait enerji yoğunlukları

Alaeddin Cami	Tiryakizade Süleyman Ağa Cami
$\frac{1.374,943}{1,746,20} = 0,79 \text{ kWh/m}^3$	$\frac{1.558}{1.536,10} = 1,02 \text{ kWh/m}^3$
$\text{Doğalgaz (TL)} \frac{1.732,97}{1,746,20} = 0,99$	$\text{Doğalgaz (TL)} \frac{2.915,52}{1.536,10} = 1,90$

Tablo 4.3.'te sunulan hesaplara göre elektrik tüketimine bağlı enerji yoğunluk değerleri Alaeddin Cami'nde 0,79 kWh/m³, Tiryakizade Cami için bu değer 1,02 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Doğalgaz tüketimine bağlı ödenen TL üzerinden bulunan yoğunluk değerleri ise Alaeddin Cami için 0,99, Tiryakizade Süleyman Ağa Cami için 1,90 bulunmuştur. Bu durumda her iki ölçüt değerlendirmesinde de Tiryakizade Süleyman

Ağa Cami için birim hacim başına düşen enerji yoğunluğu Alaeddin Cami'ne göre daha fazla bulunmuş ve çalışılacak örneklem yapı kararı enerji yoğunluğu hesapları sonucunda Tiryakizade Süleyman Ağa Cami olarak karar kılınmıştır.

4.1.4. Bölüm sonucu ve örneklem yapı kararı

İki farklı örneklem yapı alternatifi arasında mevcut çalışma için en uygun yapı tespiti için iklim veri analizleri, yapılara ait doğal gaz ve elektrik tüketimleri ve yapı enerji yoğunlukları karşılaştırılmaktadır. Süreç boyunca, kısa dönem/tekrarlı ilerletilen bina izlemelerinden elde edilen iklim verilerine göre Tiryakizade Süleyman Ağa Cami iç mekan sıcaklık değerleri diğer camiye göre daha düşük bulunmakta, dış ortam iklim şartlarından etki düzeyi daha fazla bulunmaktadır. Tespit edilen ve 4.1.1. bölümünde detaylı aktarılan verilere göre bu camideki iç mekan ısı koşulları diğer camiye göre daha negatif sonuçlar sunmaktadır. Konfor dışı zaman sıklığı daha fazla olan Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'nin doğalgaz ve elektrik tüketim değerlerinin kıyaslandığı Bölüm 4.1.2. verilerine göre iki cami arasında fatura tüketimleri bu cami için daha yüksek bulunmaktadır. Karar sürecinin son adımında (Bölüm 4.1.3.) yapılar içerisindeki metrekaşe başına düşen enerji miktarları hesaplanmaktadır. Mevcut hesaba göre Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'nin birim hacim başına düşen enerji yükü daha fazla bulunmaktadır.

3 adımda gerçekleştirilen örneklem karar sürecinin tüm karşılaştırmalı analizlerinde Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'nin enerji performansı zayıf bulunmakta ve iki tarihi yapı arasında gerçekleştirilen karşılaştırma sonucu enerji iyileştirme müdahalelerine ihtiyacı daha yüksek bulunmaktadır. Bu sebeple mevcut tez kapsamında yürütülecek araştırmanın örneklem yapısına Tiryakizade Süleyman Ağa Cami olarak karar verilmektedir.

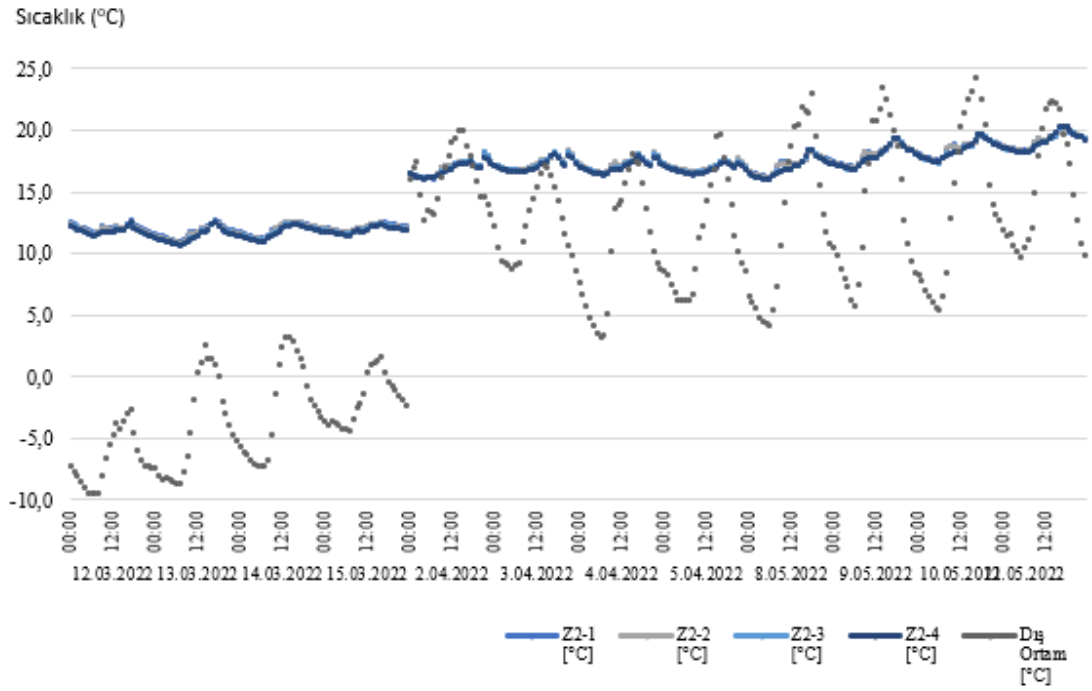
4.2. İzleme Süreci Veri Analizi Bulguları

Tiryakizade Süleyman Ağa Cami'ye ait performans değerlendirmesi ve enerji etkin iyileştirilme önerilerine dair yürütülen çalışmanın ilk adımında binanın iklim etkisi, ısıtma rejimi ve kullanıcı varlığı/yokluğu gibi durumlar altında nasıl davranış

gösterdiğine ilişkin analizler yer almakta ve inceleme sonuçları bu bölümde aktarılmaktadır.

4.2.1. Sıcaklık ve bağıl nem profillerinin irdelenmesi

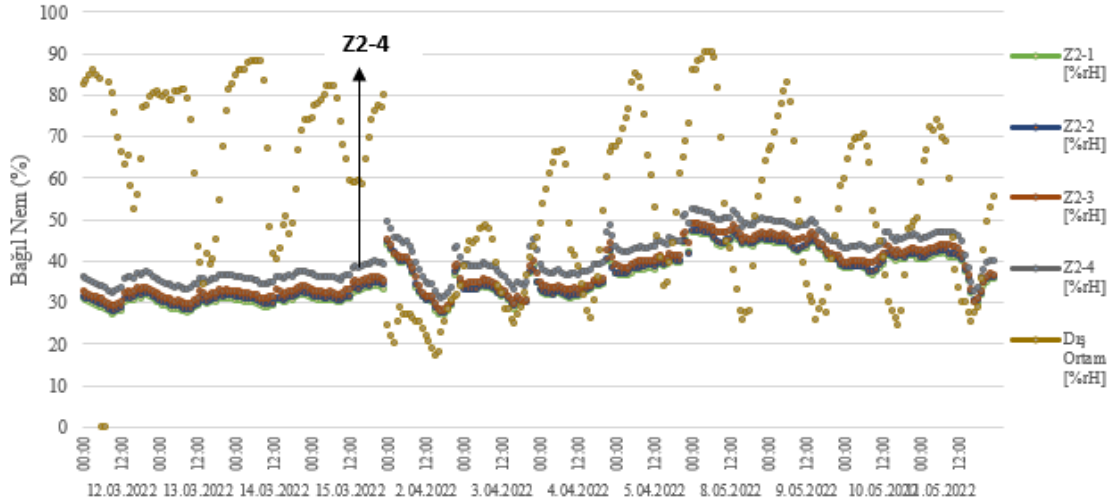
Ölçümler sonucu elde edilen veriler kademeli olarak aktarılmıştır. İlk olarak, yapı içerisinde ayrıştırılan zonlara ait veriler P1, P2, P3 ve P4 periyotlarına ait olarak irdelenmiş ve zonlar arasındaki ısı davranış farkları değerlendirilmiştir. Kafeterya bölümü (Z1), harim bölümü (Z2-1,Z2-2,Z2-3,Z2-4), son cemaat bölümü (Z3) ve kadınlar mahfili bölümü (Z4) ile birlikte değerlendirmeye giren toplamda 7 zon bulunmaktadır. Harim bölümünde oluşturulan alan ayrışması (Şekil 4.24.) ile her bir alan ayrı bir zon olarak kabul edilmiştir. Veri değerlendirmesinde öncelikli olarak, Şekil 4.24.'te belirtildiği gibi dört alana ayrılan harim bölümündeki farklı zonların iklim davranışları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.24. Harim bölümünde yer alan zonların Mart-Mayıs sürecindeki ısı davranışları

Farklı cephelerde yer alan ve benzer metrekaRELERE sahip alanların sıcaklık ve bağıl nem verileri analiz edilerek yapı kabuğunun iklim etkisi altında ısı davranışları

irdelenmiştir (Şekil 4.24.-Şekil 4.25.). Saatlik verilere göre yapılan değerlendirmede, Mart-Nisan-Mayıs aylarından 4'er gün belirlenmiş ve tüm sezonlardaki davranışlar eş değer olarak ele alınmıştır.

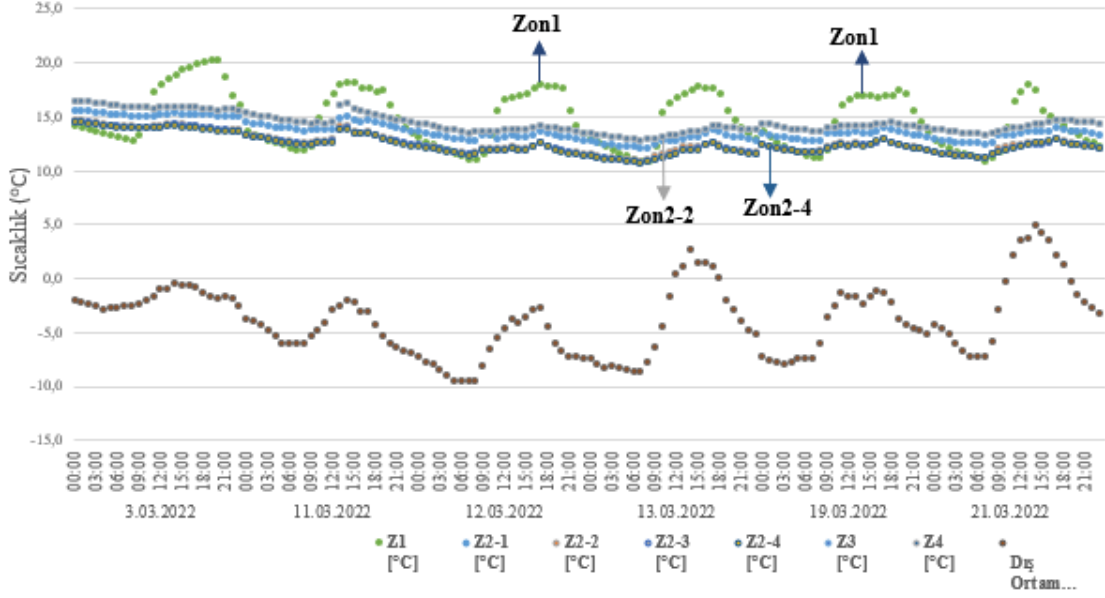


Şekil 4.25. Harim bölümünde yer alan zonların Mart-Mayıs sürecindeki ısı davranışları

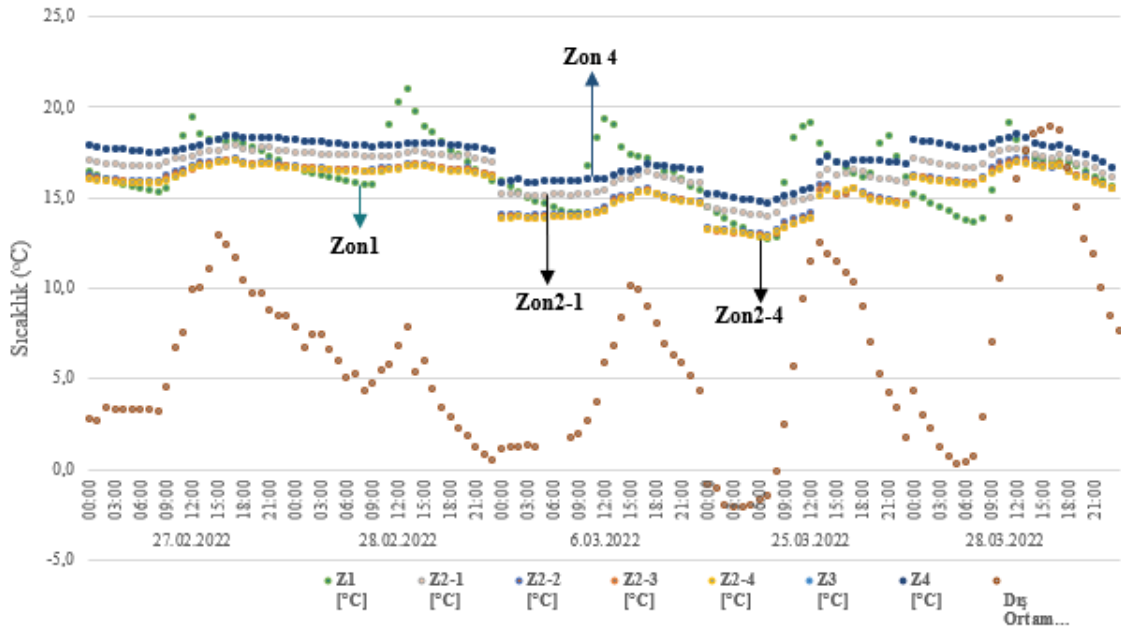
Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'te aynı mekân içerisindeki 4 zona ait farklı aylardan alınmış veriler gösterilmektedir. Sıcaklık grafiğinde, harim bölümünde yer alan farklı konumları temsil eden verilerin birbirleri ile hemen hemen aynı davranışlar sergilediği görülmektedir. Dış ortamdaki sıcaklık değişimlerine 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 8'de 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 koşullar incelenmiş ve yapı bölümlerinin farklı hava şartlarına karşı iklim hareketleri karşılaştırılmıştır. Yapı içi iklim hareketleri, ölçüm

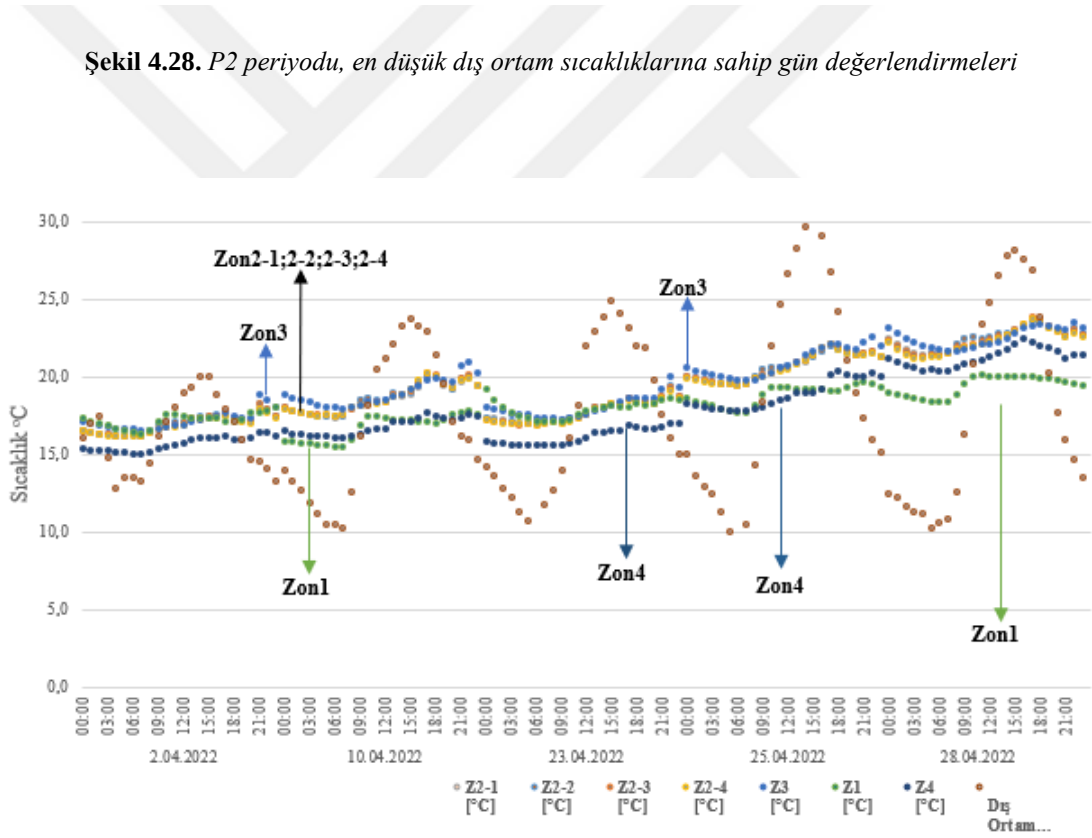
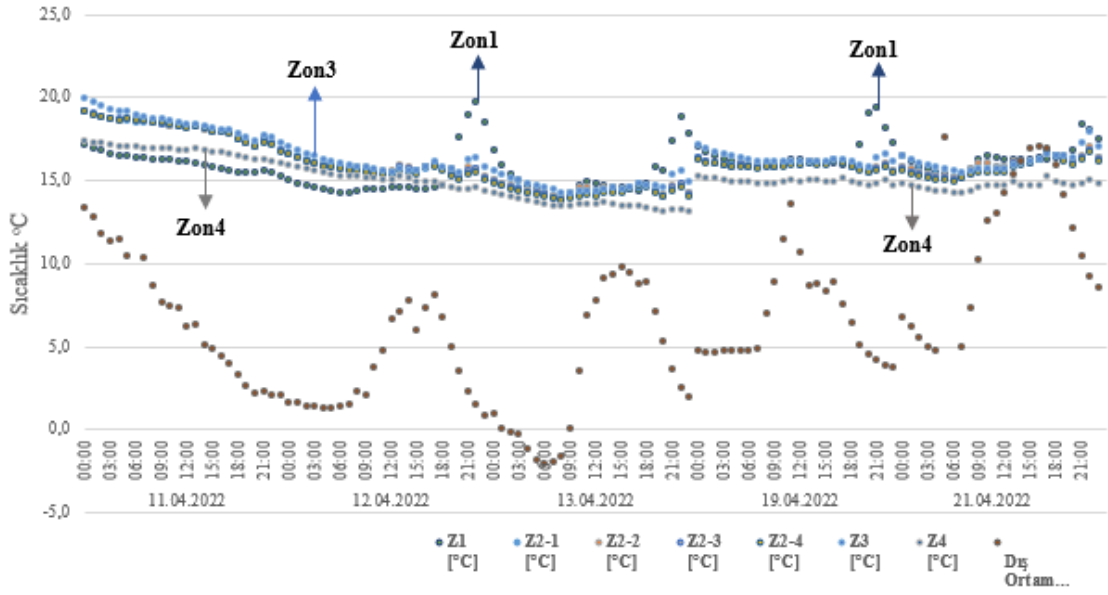
süreci boyunca periyodlar özelinde tespit edilmiş en yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamalarına sahip günlerde saatlik değerlendirmelere alınmıştır (Şekil 4.26.-4.33.).

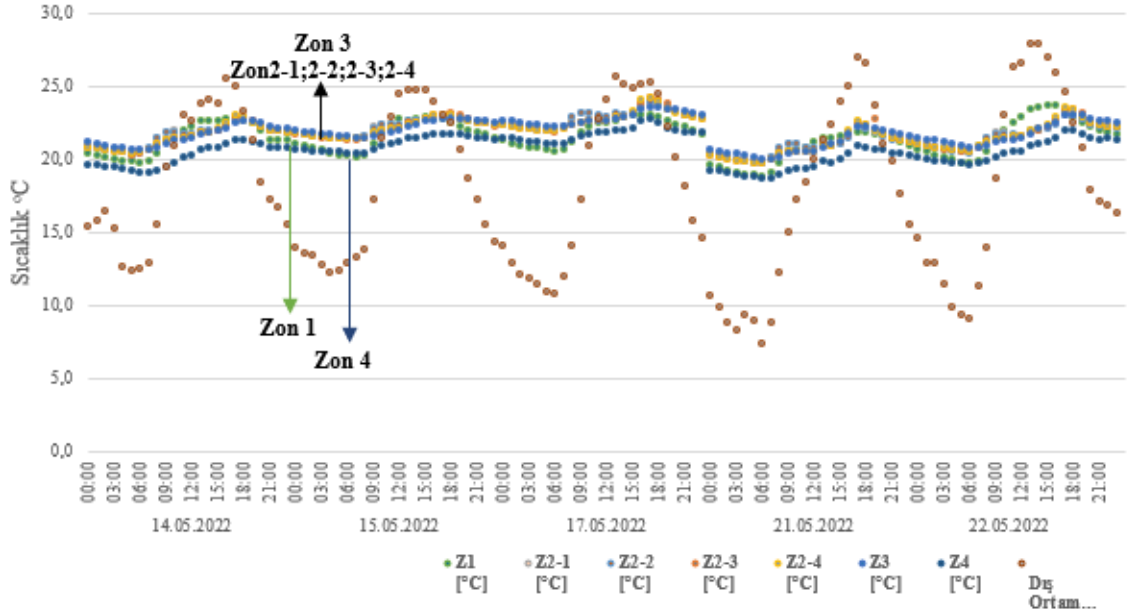
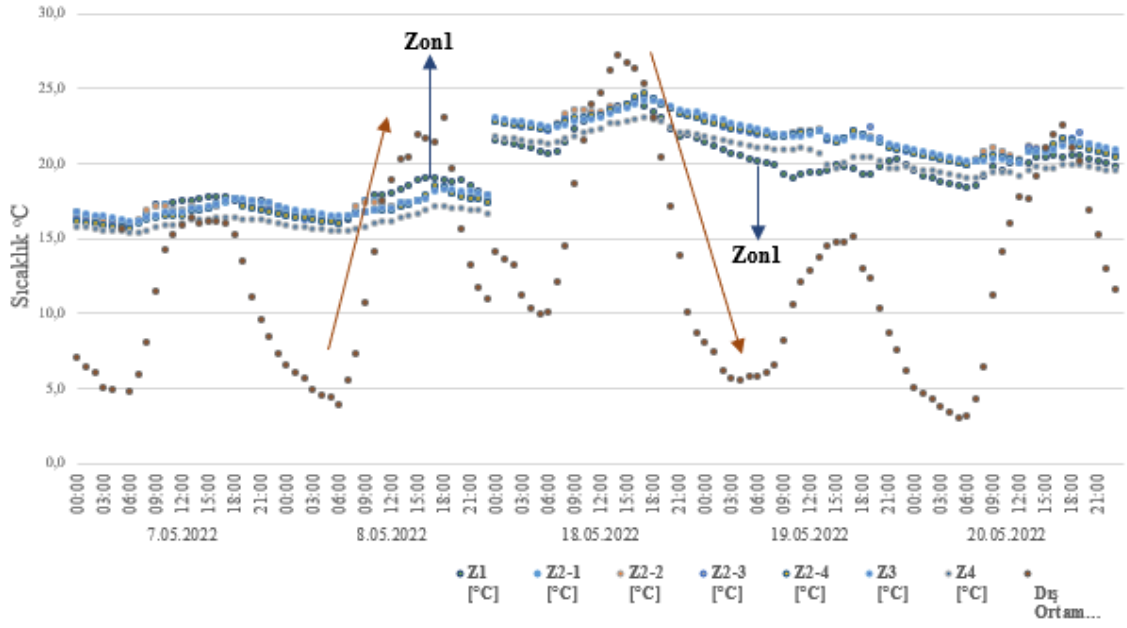


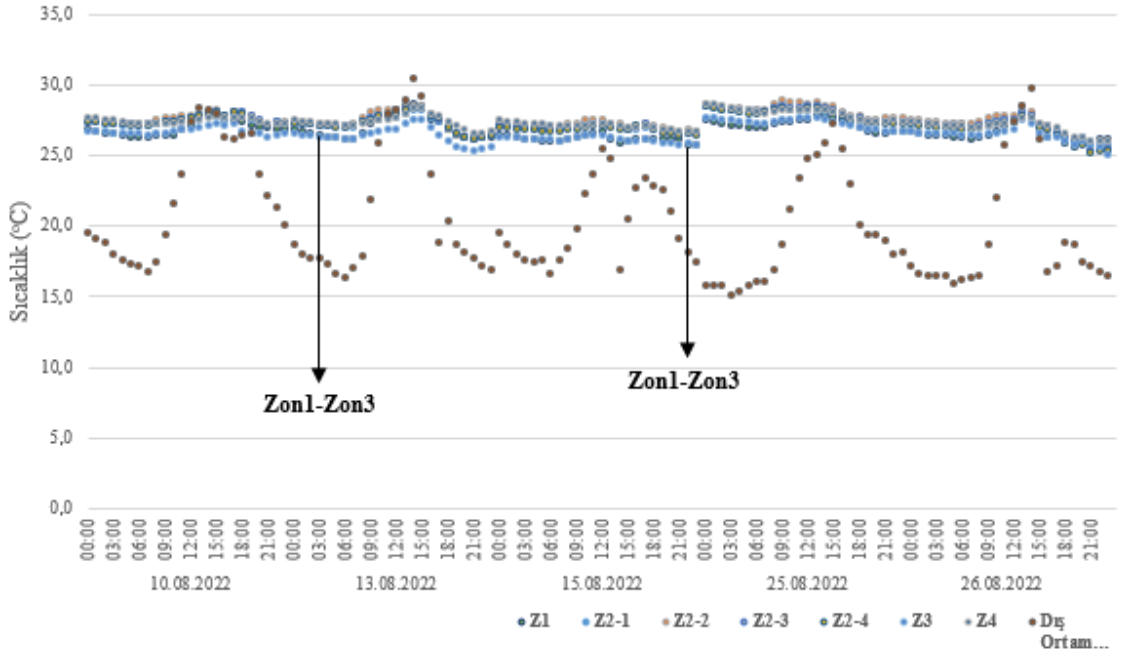
Şekil 4.26. P1 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri



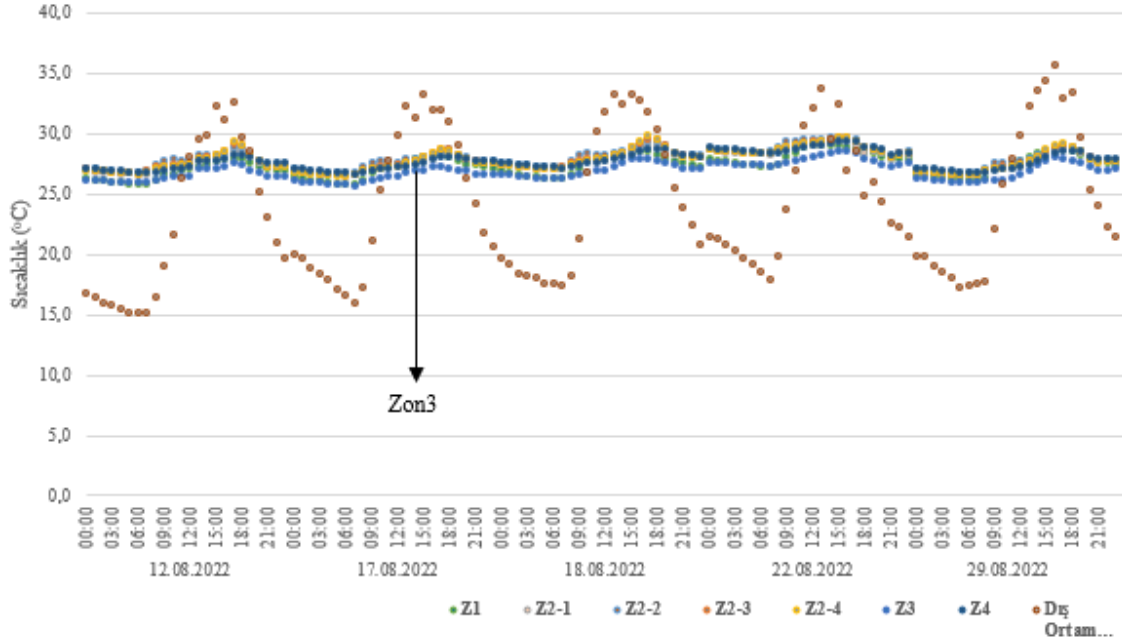
Şekil 4.27. P1 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri







Şekil 4.32. P4 periyodu, en düşük dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri



Şekil 4.33. P4 periyodu, en yüksek dış ortam sıcaklıklarına sahip gün değerlendirmeleri

P1 periyodu, 25 Şubat-30 Mart aralığı ısıtma dönemidir ve bu dönem içerisinde tespit edilen en yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamalarına ait 5'er günlük

değerlendirmeler sunulmuştur (Şekil 4.26.-Şekil 4.27.). 10 dakikalık aralıklarla ölçülen sıcaklık değerlerinden elde edilen ortalamalardaki kafeterya verilerinin (Zon 1) dış ortama paralel davranışları saptanmıştır. Zon 1 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 °C, en yüksek 18,0 °C olarak gerçekleştiği P1 periyodunda iç ortam sıcaklık değerleri 11,0-19,0 °C aralığında değişim göstermiştir. Benzer tavırlar sergileyen cami mekanları içerisinde kadınlar mahfili diğer ibadet alanlarına göre ortalama 1,0-2,0°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 moleküller hareketinin artması, dolayısıyla yoğunluğunun azalması (Tripathi vd., 2004, s.4) ile açıklanabilmektedir (Şekil 4.26.-Şekil 4.27.). Şekil 4.27.'de sunulmuş P1 periyodunda saptanmış en yüksek sıcaklıklarda cami içi mahallerindeki ani sıcaklık artış ve düşüşleri tüm alanlarda ortak tavır olarak tespit edilmiş ve periyod özelinde ele alınmış tüm süreçte cami mahallerinde lineer davranışlar tespit edilmiştir. Sıcaklık değerleri arasında fark olmasına rağmen 6 Mart, 28 Mart tarihlerindeki dış sıcaklıkta gerçekleşen 10,0-12,0 °C düşüşe yapı içerisindeki mekanların benzer trendle ve yaklaşık 3 °C sıcaklık düşüşü ile karşılık verdiği görülmüştür. Bu durum ısı gecikmesinin binada çok hızlı gerçekleşmediği sonucuyla açıklanabilir. Isıl kütleinin yetersiz olduğu sonucuna varılamasa 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 6,0-9,0 °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 4.28.-Şekil 4.29.).

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. Aynı gün içerisinde 20,0 - 26,0 °C bandında gerçekleşen dış sıcaklık dalgalanmasının iç mekan sıcaklık profillerine etkisinin tüm mahallerde benzer şekilde ortaya çıktığı ve ani sıcaklık değişimlerine sebep olduğu gözlenmiştir. Yapı içerisinde ısıtma ve soğutmanın çalışmadığı, serbest dönem olarak ele alınan Mayıs ayında tüm mahallerin benzer aralıklarda, benzer davranışlar sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 4.30.-Şekil 4.31.). Yapı içerisinde, iç ortam sıcaklıkları 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 15,0-18,0°C sıcaklık farklarının iç mekana etkisi belirgin olmamakla birlikte tüm mahallerde benzer değerler göstermiştir. İç mekandaki sıcaklık değerleri tüm mekanlarda 26,0-30,0°C aralığındadır. Ağustos ayı verileri gözetilen periyod, incelemeler içerisinde tüm mahallerde tespit edilmiş en yüksek iç ortam sıcaklıklarına sahiptir (Şekil 4.32.-Şekil 4.33.).

4.2.2. Isıtma, Isıl Kütle Nitelikleri ve İç Sıcaklık Profillerinin İrdelenmesi

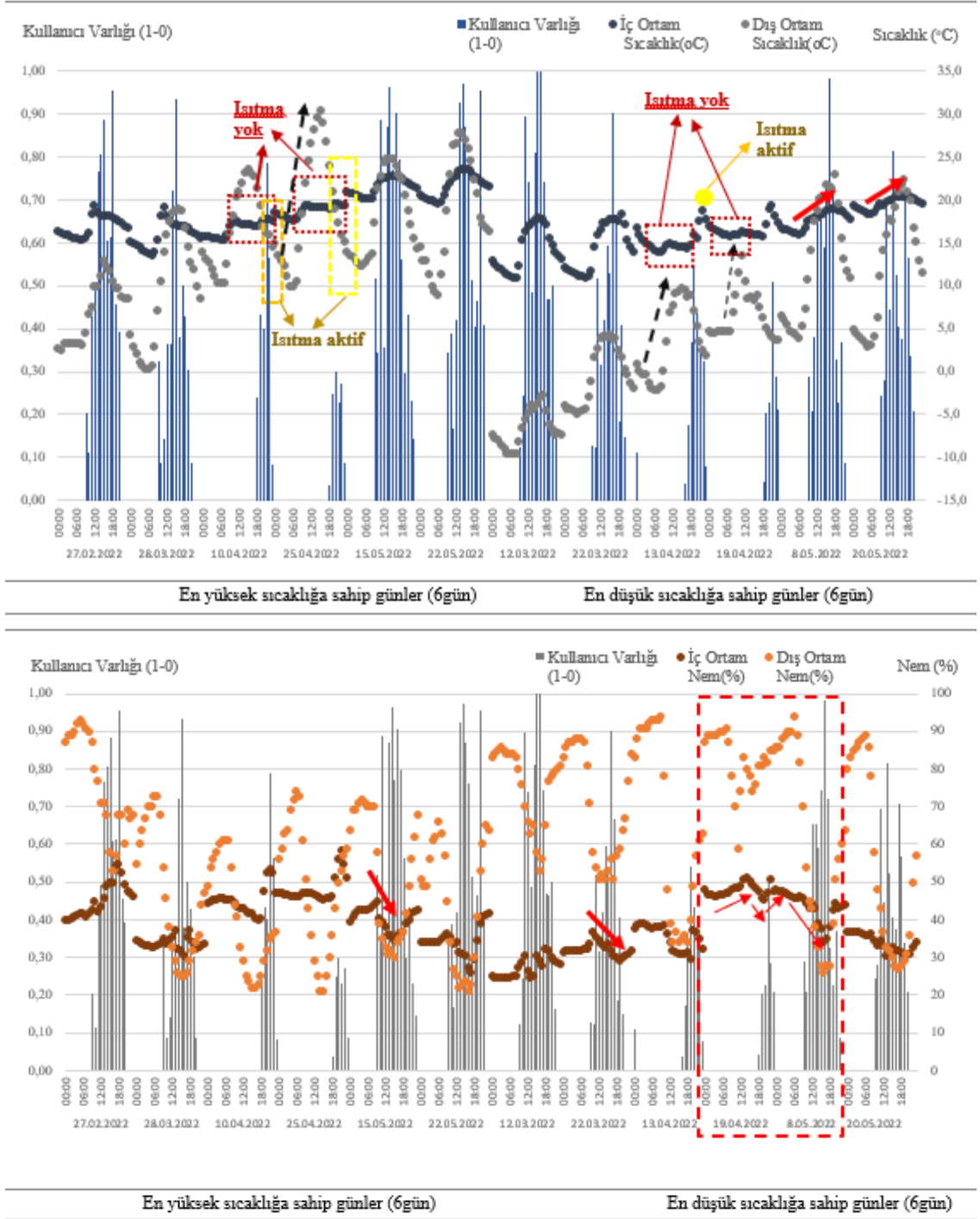
İzleme çalışmasının yürütüldüğü örneklem yapı çok fonksiyonlu bir yapıdır ve bu nedenle kullanıcı varlığı ve yoğunluğu zemin kat ve üst katlar için farklılık göstermektedir. Yapı iç ortam değerlerinin ölçüldüğü tüm hacimlerde kullanıcı varlık/yokluk verisi kaydedilmiş olup aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. 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 dış sıcaklık ortalamasının en az ve en fazla olduğu 6 gün üzerinden aktarılmıştır.

Şekil 4.34. ve Şekil 4.35. kafeteryaya yerleştirilmiş olan HOB0 UX90-005 kullanıcı varlığı ve aydınlatma cihazından elde edilen verileri sunmaktadır. Kafeteryanın kuzey (Şekil 4.34.) ve güney yönlü (Şekil 4.35.) iç duvar yüzeylerine yerleştirilmiş bu cihazlardan elde edilen sonuçlar kafeteryanın 12:00-18:00 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 4.34.'e göre dış sıcaklığın yüksek olduğu günlerde kafeterya iç sıcaklığı 15-25°C aralığında, dış sıcaklığın düşük olduğu tarihlerde iç sıcaklık 10,0-15,0°C aralığında ölçülmüştür. 10-13-19 ve 25 Nisan tarihleri (Ramazan aynına ait günler) için kullanıcı varlığının 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 bilinmekte 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 4.34.'te örneği görüldüğü gibi ısıtmanın manuel olarak devreye alındığı günler saptanmıştır. Örneğin 10-25 Nisan tarihlerinde 15,0-20,0°C bandında gerçekleşen dış sıcaklığın iç mekan değerlerini etkilemediği ve ısıtmanın aktif olmadığı gözlenmiş, ancak aynı günler içerisinde kullanıcı varlığının görüldüğü 19:00 sonrası mekanda ısıtma sisteminin çalışmasına bağlı olarak iç ortam ısısının yükseldiği gözlenmiştir (Şekil 4.34.). Gün boyunca kapalı bulunan

mekandaki iç sıcaklığın, dış ortam sıcaklığında gerçekleşen dalgalanmalardan etkilenmemesi zemin kat yapı kabuğunun U-değerlerinin düşük olabileceği, ısıtma kütlenin yüksek olabileceği ya da sızdırmazlık değerlerinin düşük olabileceği yönünde değerlendirilmiştir.

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 9,0-10,0°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.



Şekil 4.34. Kafeteryaya (Zon1'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H1



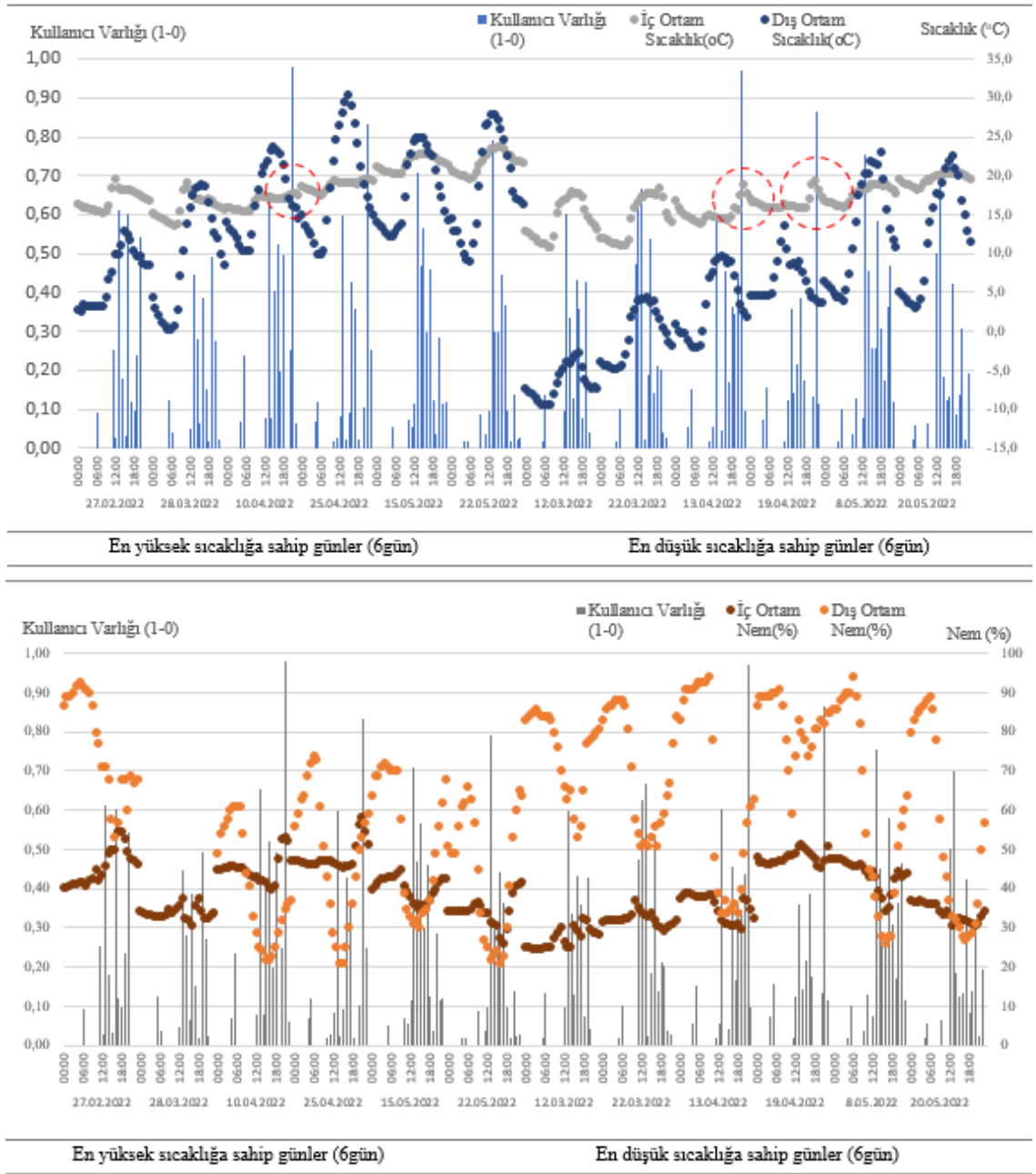
Şekil 4.35. Kafeteryaya (Zon1'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H2

Mayıs ayı boyunca, önceki aylara kıyasla yüksek seyretmeye başlayan dış sıcaklık profillerine bağlı olarak yapı kütesinin ısı tutma kapasitesinin arttığını ve dış sıcaklık dalgalanmalarından daha az etkilenmeye başladığını söylemek mümkündür. Dolayısıyla Şekil 4.34.'te örneklenen varsayımların aktif ısıl kütle etkisi olarak yorumlanabileceği kesinlik kazanmıştır. İç ve dış sıcaklık dalgalanmasının gündüz ve gece için benzer

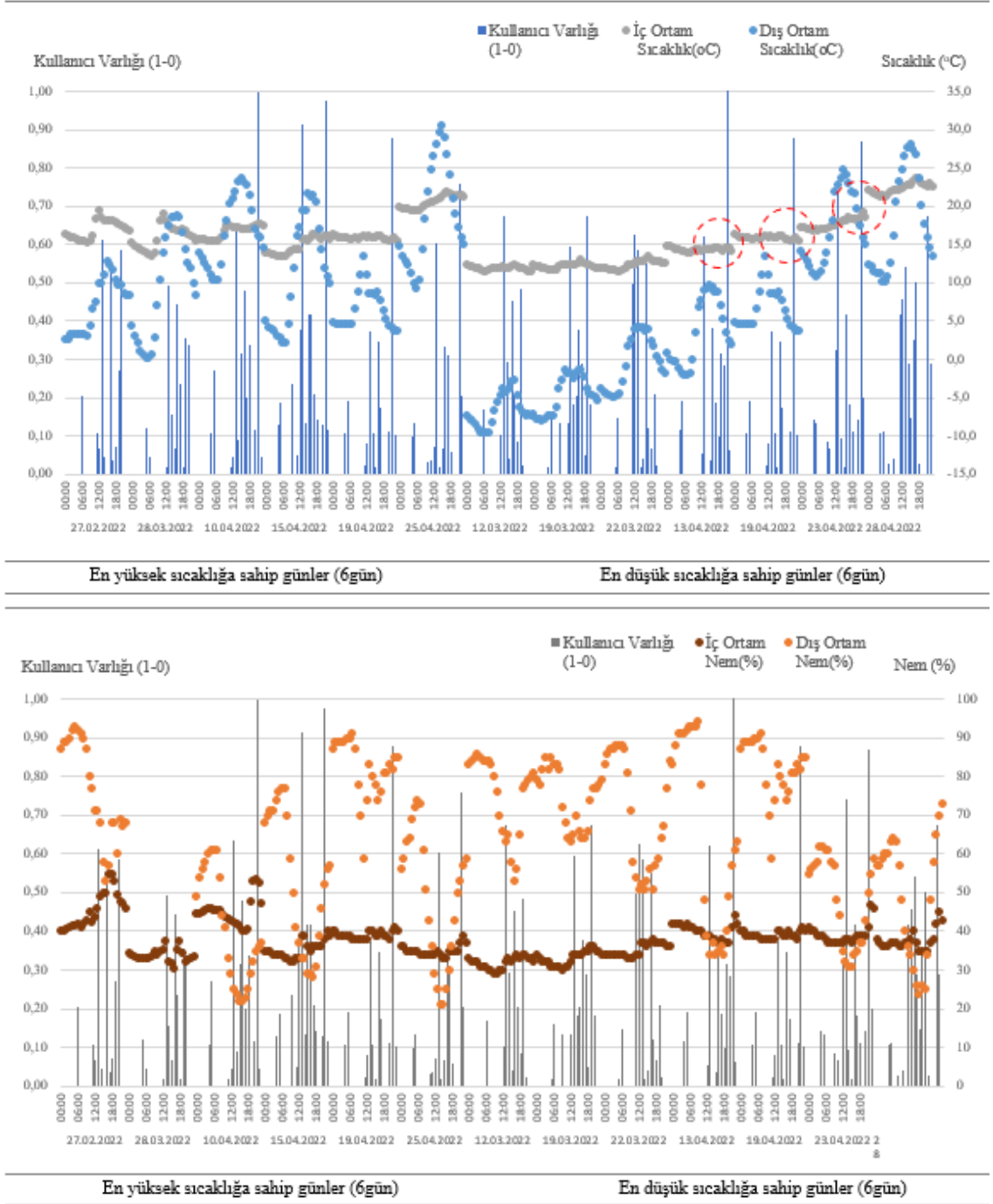
salınım göstermesi ancak farklı basıklıklarda olması da cami yapısının etkin bir ısıl kütleye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Isıl kütlenin etkisini anlamak bakımından Şekil 4.34.'te 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, 28 Mart tarihindeki dış ortam sıcaklığındaki 20,0°C artışın iç mekana yansımaları ise yine aynı şekilde 5,0°C olmuştur. İç mekan sıcaklığının tamamen dış sıcaklığa bağlı dalgalanmadığı görülmekte olup yapının ısıl kütlesinin etkin bir parametre olduğunu söylemek olası hale gelmektedir.

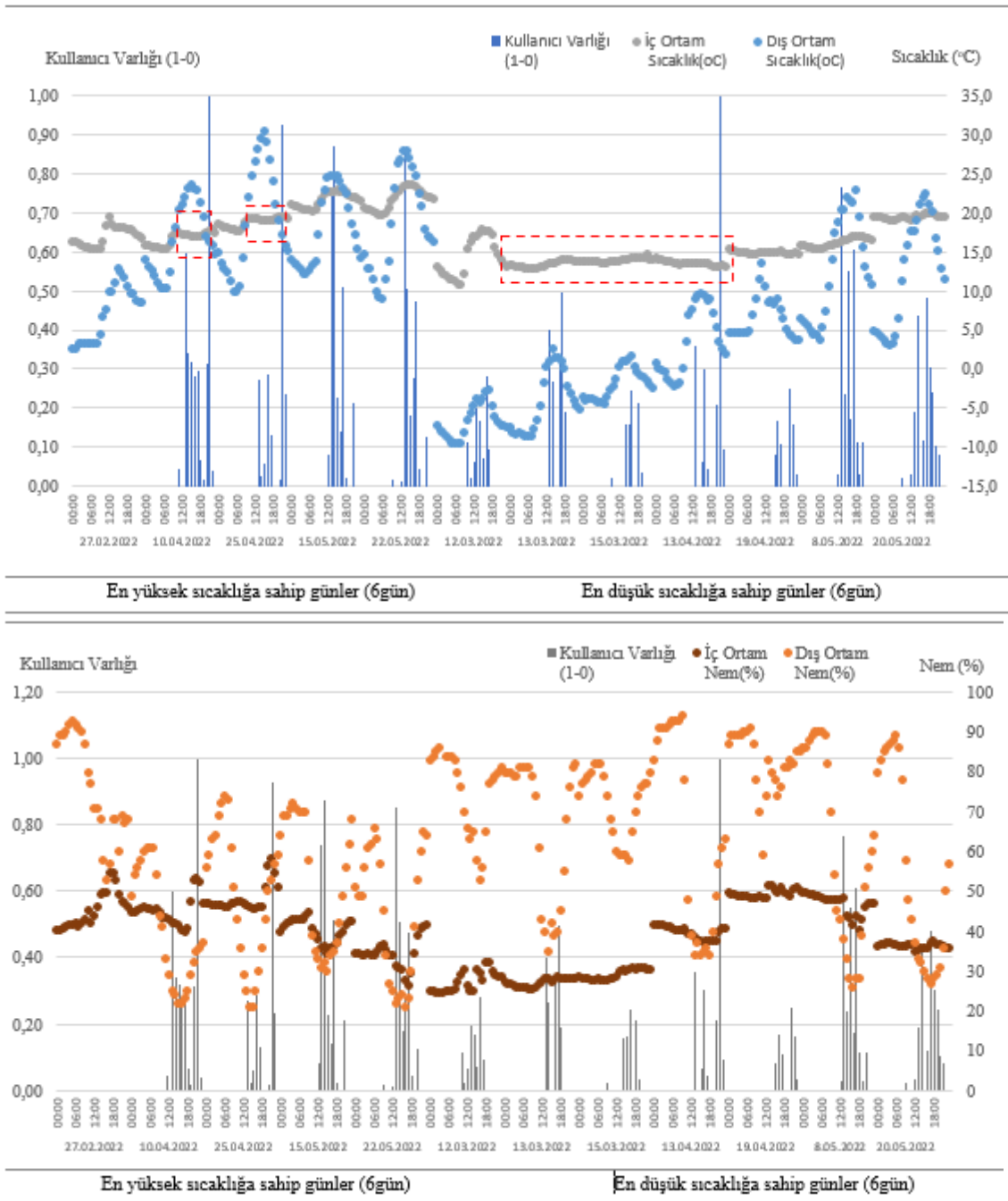
Kafeteryaya (Zon 1'e) ait veriler sunan Şekil 4.34. ve Şekil 4.35.'te kullanıcı varlığının 9:00 ila 21:00 saatleri arasında farklı yoğunluklarda olduğu, ancak cami hariminde (Zon2'ye) ve kadınlar mahfilinde (Zon4'e) kullanıcı varlığının sürekli değil kesintili olarak gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.36. ve Şekil 4.37.). Namaz vakitlerinde kullanıcı varlığı tespiti yapılabilen veriler içerisinde öğlen ve akşam vakitlerinde kullanıcı yoğunluğunun daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Harim mekânı içerisindeki sıcaklıklar kafeterya ile benzer olmakla birlikte yüksek dış sıcaklıklarda harim içi 15,0-25,0°C, düşük dış sıcaklıklarda mekan içi 10,0-20,0°C şeklindedir.



Şekil 4.36. Harim (Zon2'ye) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H3



Şekil 4.37. Harim (Zon2'ye) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H4



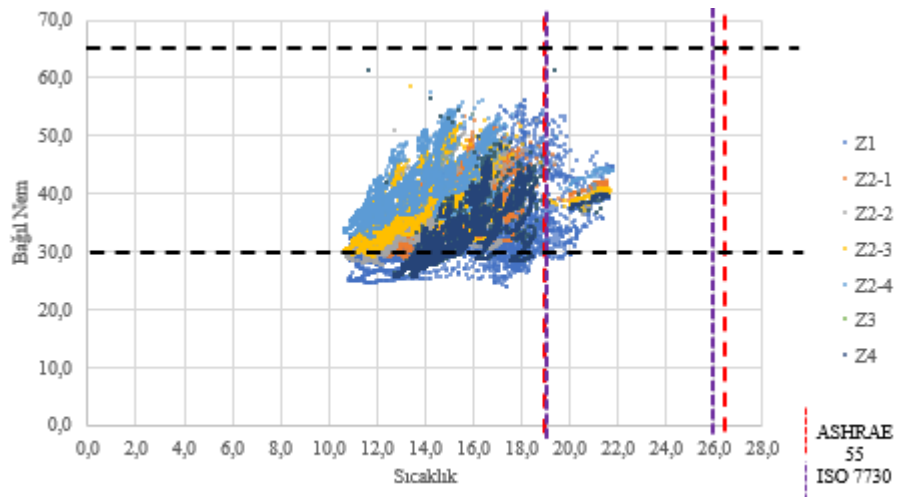
Şekil 4.38. Kadınlar Mahfili (Zon4'e) ait sıcaklık-nem ve kullanıcı varlığı ilişkisi, Cihaz No: H5

H3 ve H4 numaralı HOBO UX90-005 kayıt cihazları cami fonksiyonunun harim bölümüne asılmışlardır. Aynı mekan 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

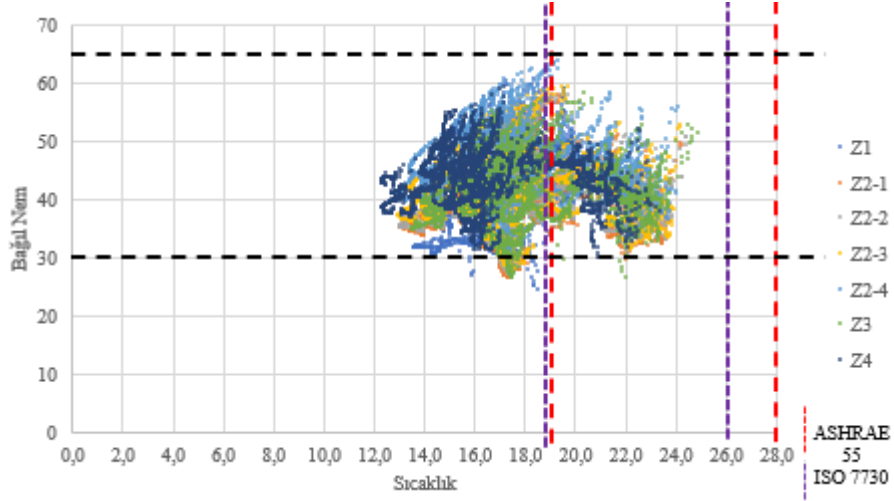
ayına ait günlerde ve 21:00 saatleri civarındadır (Şekil 4.36.-Şekil 4.37.). Bu durum, 2 Nisan-1 Mayıs 2022 tarihleri arasına denk gelen Ramazan ayı kaynaklıdır. Belirtilen saatlerde (21:00 civarı) ramazan ayında kılınan teravih namazı dolayısıyla cami içerisinde çok sayıda cemaat bulunmaktadır. Kullanıcı sayısındaki artışın iç ortam sıcaklığına etkisi ve Ramazan ayı dolayısı ile cami görevlileri tarafından ısıtma sistemine yapılan manuel müdahale, Şekil 4.36.-Şekil 4.37. grafiklerinde Nisan ayı günlerine ani sıcaklık farkı olarak yansımıştır. H5 cihazı, üst kotta yer alan kadınlar mahfiline ait verileri sunmaktadır (Şekil 4.38.). 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.

4.2.3. Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi

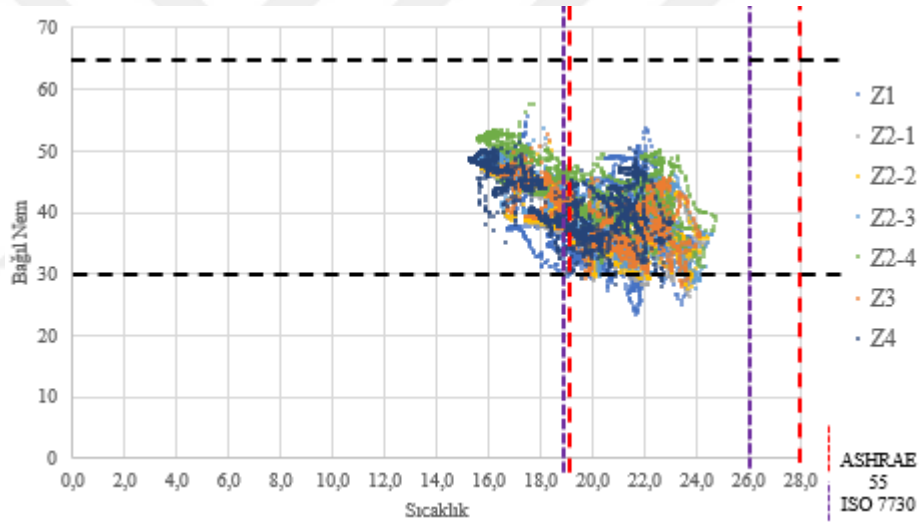
Yapıda ölçüm yapılan alanlardan elde edilen sıcaklık ve nem verilerinin çaprazlaması mevcut bölümde aktarılmaktadır. Bu değerlendirme saatlik dağılımların ASHRAE 55 ve ISO 7730 standartları konfor sınırları üzerinden analiz edilmesine yöneliktir. Şekil 4.39, 4.40., 4.41., 4.42.'de, belirlenen periyodlara göre sıcaklık-nem saatlik değerleri ve döneme göre standartlarda geçen konfor aralıkları sunulmaktadır.



Şekil 4.39. Yapı bölümlerinin P1 (25 Şubat-29 Mart) ısıtma dönemi saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve standartlara göre konfor aralıklarındaki yerleri

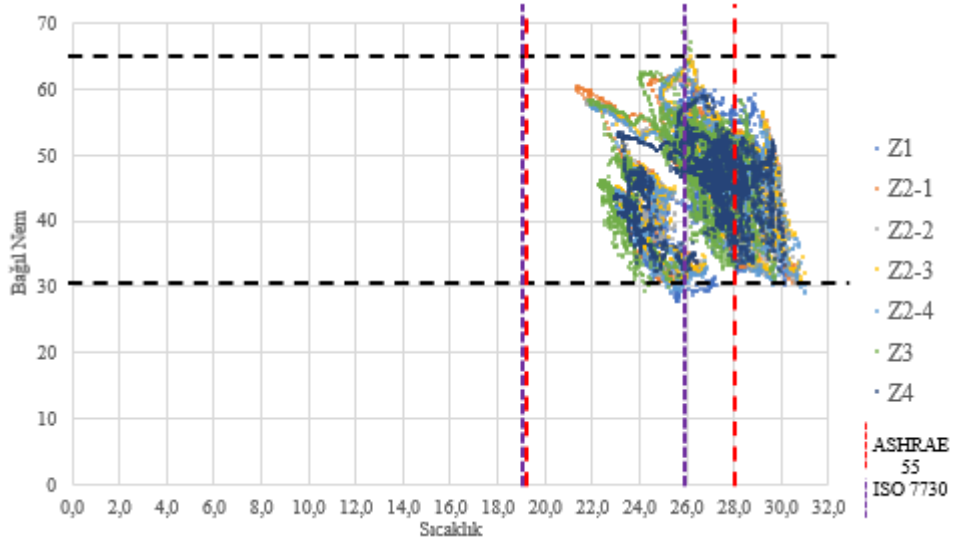


Şekil 4.40. Yapı bölümlerinin P2 (1-30 Nisan) ısıtma dönemi saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve standartlara göre konfor aralıklarındaki yerleri



Şekil 4.41. Yapı bölümlerinin P3 (1-31 Mayıs) serbest dönem saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve standartlara göre konfor aralıklarındaki yerleri

Şekil 4.39, 4.40., 4.41., 4.42.'de 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, 19,0-26,5 °C iken soğutma döneminde 23,5-28,0°C'dir. ISO 7730 (2005) standardında yer alan aralıklar ısıtma dönemi için 19,0-26,0°C, soğutma dönemi için $24,5 \pm 1,5$ °C olarak belirtilmektedir.



Şekil 4.42. Yapı bölümlerinin P4 (10 Ağustos-10 Eylül) serbest dönem saatlik sıcaklık-nem dağılımları ve standartlara göre konfor aralıklarındaki yerleri

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 kazançlara dayandırılması da mümkündür. Şekil 4.26.-4.27. ile Şekil 4.39. sunuşları birlikte ele alındığında P1 döneminde kafeteryadaki sıcaklık değerlerinin genel olarak standartlara uymadığı ancak cami mekanlarına kıyasla daha konforlu bir ısı ortam 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 4.40. üzerinden yapılan kontrolde kafeteryaya ait nem grafiğinin yer yer minimum konfor sınırının altında kaldığı doğrulanmıştır. Şekil 4.25.'te tespit edilen Zon2-4 bölümünün nem oranlarının diğer bölümlere göre daha yüksek olma hali Şekil 4.39.- Şekil 4.42. grafiklerindeki konfor aralıklarına göre incelenmiş ve nem özelinde sınırlar içerisinde 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 4.40'da minimum ısı konfor sınırı altında mekanlara ait 50%'den fazla veri bulunmaktadır. Söz konusu durum tüm mahallerde gözlenmiştir. Üçüncü periyoda dair veriler sunan Şekil 4.41.'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 4.42.). Tüm grafiklerin incelenmesi sonucunda yapı içerisinde ısıtmanın aktif olmadığı dönemler (P3 ve P4) konfor aralıklarına daha yakın veriler sunmaktadır (Şekil 4.39., 4.40., 4.41., 4.42.).

4.2.4. Bölüm Sonucu ve Önerileri

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 enerji etkin iyileştirme önerilerinin tasarlanmasında önemli girdiler sunmaktadır. Mevcut çalışma, bir 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 harım 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 karşılığına rastlanmamış ve aktif ısıtma kaynaklı bulunan tespit doğrulanmıştır. Tüm cami mekanlarında, 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 mekanı özelinde ısıtma-soğutma rejimlerinin kontrollü biçimde ele alınması gerektiğini düşündürmüştür. Cami fonksiyonuna ait diğer farklı davranışa sahip mekan, erkek cemaatin ibadet ettiği harim bölümü olmuştur. Isıtma sezonunda mekan içi en düşük sıcaklıklar bandında hareket eden harim bölümü, serbest dönem içerisinde mekanlar içerisinde en yüksek sıcaklık verilerine sahip bulunmuştur. Mevcut tespit, yapının farklı kotlarında, farklı sızdırmazlık durumlarına işaret etmekte ve restorasyon öncesi yapı incelemesinde tüm kotlara sızdırmazlık testi uygulamasını zorunlu kılmıştır. İç ve dış ortam sıcaklık takiplerinin bağlantı izlemesi ile dış mekanda gerçekleşen ısı dalgalanmanın iç mekanlara yansımalarının tespiti, yansıma gecikmelerinin mekanlar özelinde ele alınması yine aynı şekilde farklı kot analiz gerekliliğini doğrulamıştır.

Mekan içi sıcaklık ve kullanıcı varlığı ilişkisine dair yapılan incelemeler, mekan 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 dağınık ısı davranış resimlerine sebep olmuştur. Isıtmanın aktif olmadığı dönemlerde yapının kendini daha ideale yakın tuttuğu tespit edilmiştir. 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 davranışları 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 tasarıları planlanan restorasyon uygulamaları öncesi altlık niteliği sunmakta, uygulama yapılacak 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, beşinci bölümde simülasyon modeline aktarılacak, model kalibrasyonunun sağlanmasının ardından elde edilen tespitlere yönelik müdahale tasarıları ilerleyen dönemlerde mevcut yapı simülasyonu üzerinde uygulanacak ve çıktıları tartışılacaktır.

4.3. Simülasyon Bulguları

Gerçek binaya uygun, mekânsal-fonksiyonel bölümleri ve yapı fiziksel özellikleri korunarak üç boyutlu simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bina çevresine ait komşu yapılar, yollar ve gölgeleme elemanı oluşturacak peyzaj ürünleri modele dahil edilmiştir. Çok fonksiyonlu yapı örneği olan Tiryakizade Süleyman Ağa camisine ait hacimsel ve fonksiyonel farklılıklar ayrı zonlarda ele alınmıştır. Zonlara ait veriler, veri sekmelerindeki ara yüzlere uygun oluşturulmuş, ara yüz tanıtımı ve baz modele ait girdiler aşağıda alt başlıklar özelinde sunulmuştur.

4.3.1. İklim verileri

Yapının bulunduğu lokasyona ait veriler, program içerisinde sunulan şablondan seçilmiş, lokasyon olarak Eskişehir/Türkiye seçimi yapılmıştır (Şekil 4.43.). Eskişehir iklim verileri, bina simülasyonları için özel olarak tasarlanmış, farklı ülke ve şehirlere ait iklim dosyaları paylaşılan bir internet sitesi üzerinden temin edilmiştir (Climate.onebuilding.org).

Simulation Weather Data	
Hourly weather data	TUR_ES_Eskisehir
Day of week for start day	8-Use weather file
☒ Use weather file snow and rain indicators	
Winter Design Weather Data	
Heating 99.6% coverage	
Outside design temperature (°C)	-4.4
Wind speed (m/s)	1.2
Wind direction (°)	70.0

Şekil 4.43. DesignBuilder içerisine eklenen Eskişehir lokasyonu

EPW formatında paylaşılan iklim dosyası 2007-2021 yılları ortalamasını sunmakta olup mevcut dosya CCWorldWeatherGen programından elde edilen artış trendi referans

alınarak 2023 dosyasına dönüştürülmüştür. Elde edilen 2023 iklim dosyanın kabulü ile dosya, DesignBuilder iklim klasörü içerisine yüklenmiş ve tüm simülasyonlar Eskişehir lokasyon ve iklim verileri çerçevesinde çalıştırılmıştır (Şekil 4.43.).

4.3.2. Mimari veriler

Örnekleme yapıya ait mimari veriler, binanın geometrik verileri ve yapı malzemelerine ait fiziksel özellikler kapsamında ele alınmıştır. Yapının geometrik modellemesinde farklı kat kurguları, kat yükseklikleri, farklı katlardaki kullanım alanları, mekan hacimleri ve yapı kabuğu opak/saydam hesaplamaları güncel uygulama projesine uygun şekilde modele aktarılmıştır. Mevcut yapı üzerinde kullanılmış malzeme bilgileri ve yapı malzemelerine ait fiziksel özellikler yine aynı şekilde proje verilerine uygun şekilde planlanmıştır. Proje üzerinde malzeme bilgisine ulaşamayan alanlarda ölçüm cihazları ile çalışmalar yürütülmüş ve malzeme özellikleri tespit edilmiştir.

4.3.2.1. Bina baz modelinin geometrik modellemesi

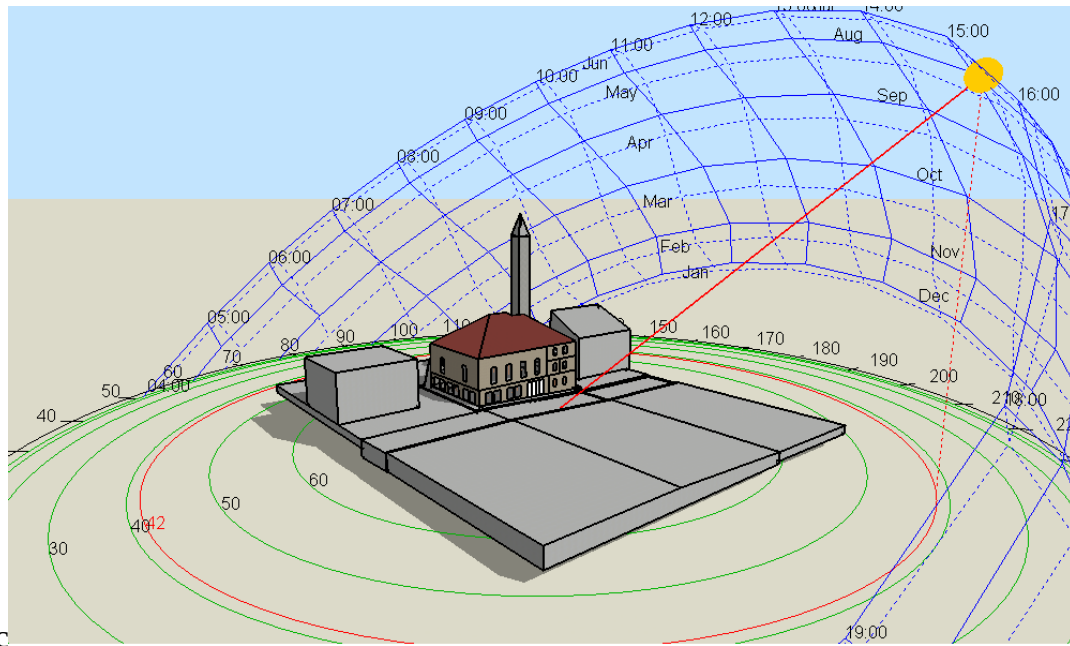
Örnekleme yapı; zemin kat kafeterya, birinci kat erkek cemaat, ara kat ise kadın cemaat için olacak şekilde modellenmiştir. Model içerisinde tanımlı aktivite tipleri içerisinde zemin yemek pişirilen aynı zamanda aynı mekanda tüketilebilen kafe tanımı, üst katlara da dini mekan (place of religious worship) tanımı yapılmıştır. Kafeterya kat yüksekliği 3.10m, erkek cemaatin ibadet ettiği harim bölümüne ait yükseklik 6.35m'dir. Asma katta yer alan kadınlar mahfiline ait yükseklik 2.80m olup harim mekanı yüksekliği içerisinde kalmaktadır.

Design Builder programı ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) standardına bağlı çalışmaktadır. ASHRAE'ye göre yapı kabuğundaki pencerelerin duvarlara oranı 40% olarak belirtilmekte ve Design Builder tarafından modele bu değer otomatik olarak atanmaktadır. Mevcut örnekleme yapıda pencere/duvar oranı kafeterya ve cami için ayrı ele alınmıştır. Kafeteryadaki toplam pencere oranı 19%, cami için toplam pencere oranı ise 12% bulunmuş ve model verileri bu doğrultuda güncellenmiştir (Tablo 4.4.). Tüm yapı üzerinden saydam/opak hesaplaması ise 15% değerinde bulunmuştur.

Dikdörtgen forma sahip cami yapısı kuzeybatı-güneydoğu düzleminde yer almakta ve toplam 617,00 m² kullanım alanına sahip olmaktadır. Ayrık nizam oturma binasının Doğu ve Güney cepheleri caddeye bakmakta Kuzey ve Batı cepheleri ise avluya cephe almaktadır. Binaya ait tarihsel veriler üst bölümde yer almakta olup Tablo 4.4.'te binaya ait genel bilgiler paylaşılmıştır.

Tablo 4.4. Örneklem yapıya ait genel bilgiler

Binaya ait Genel Bilgiler				
	Zemin Kat	Birinci Kat	Asma Kat	Toplam
Toplam Kullanım Alanı (m ²)	163,80 (kafeterya) 97,45 (camiye ait mekanlar) 261,25	219,75 (harim) 37,20 (son cemaat) (13,5 merdiven) 270,45	74,00 (kadınlar mahfili) (11,30 merdiven) 85,30	617,00
Kat Yüksekliği (m)	3,10	6,35 (harim)- 2,80 (son cemaat)	2,30	
Hacim (m ³)	507,80 (kafeterya) 838,10 (toplam)	1.452,40	195,90	2.486,40
Toplam Pencere Alanı (m ²)	50,05 19%	41,75 (ortak pencere) 12%		91,80
Toplam Pencere Oranı (%)		91,80 / 597,00		15,40
Toplam Cephe Alanı (m ²)		597,00		597,00
Kompaktlık (Toplam Cephe Alanı/Hacim)		597,00 / 2.486,40		0,24

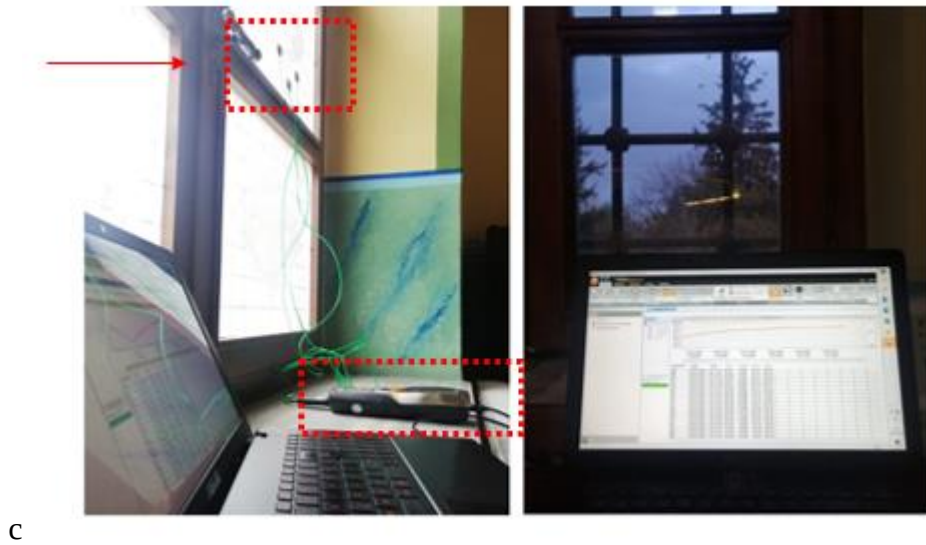


Şekil 4.44. Design Builder üzerinde modellenmiş örneklem yapı görseli

Bina k t le modelinin tamamlanmasının ardından (  ekil 4.44.) bina bölümleri için zon tanımlamaları yapılmıştır. Tiryakizade Süleyman A a Cami binası 7 ayrı zondan oluşmaktadır. Program içerisinde mekan farklıla malarının amacı farklı zonlar içerisindeki tasarım, malzeme farklılıkları, ayrı cephe yönelimleri, ısıtma sisteminin açık/kapalı durum değişkenleri, farklı ısılı erişimleri gibi tüm değişkenlerin zon özelinde ele alınmasını ve mekan özelinde analizi sağlamaktır.

4.3.2.2. Bina kabuğunun fiziksel  zellikleri

Isıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri), yapı elemanının kesitindeki ısı akışı olarak tanımlanmaktadır. Enerji performansı ve ısı konfor koşullarının sağlanması yapı elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayıları önemli parametre niteliği taşımaktadır. U-değeri, malzemelerin ısı iletim katsayısı ve malzeme kalınlığına bağlı olmakla birlikte malzemeye ait değer ne kadar küçük ise ısı kaybı da o kadar az olacak şekilde denkleme sahiptir (BEP-TR 2, s. 24). Yapı malzemelerine ait U-değeri tespitinde hesaplama yöntemleri, kılavuz verileri ve bunlarla birlikte U-değerinin tespiti için kullanılan sıcaklık problemleri bulunmaktadır. Çalışma içerisinde ele alınan örneklem yapı malzemelerinin fiziksel değerlerine günümüz standartlarından erişim ve yapı malzemesi içeriğine ulaşım kısıtı dolayısıyla malzemelerin U-değeri tespiti için TESTO 435-2 radyo frekans dış sıcaklık ölçüm probu ve thermocouple duvar sıcaklık probu kullanılmıştır (  ekil 4.45.).



C

  ekil 4.45. TESTO 435-2 U-değeri probu ölçüm anına ait görsel

Mart ayı içerisinde, TESTO 435-2 probu ile yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları tespitine yönelik ölçüm çalışmaları yürütülmüş fakat gerekli ortam şartlarının sağlanamaması nedeni ile yeterli ve güvenilir veriye ulaşılamamıştır. TESTO 435-2 ile uygulanan yöntemde, U değeri hesabı için dış sıcaklık, iç ortam sıcaklığı ve ölçüm alınan elemanın iç yüzey sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçümün gerçekleşmesi ve güvenilir değerlerin elde edilebilmesi için iç ve dış ortam sıcaklığı arasında minimum 15°C farkın sağlanması gerekmektedir. Uygulanan U değeri tespit yöntemi, şartların sağlanabilmesi, sonuç veri güvenilirliği ve ölçüm sayısının artırılması gerekçesi ile 2022 ve 2023 yıllarında tekrarlanmıştır. Tablo 4.5.'te görüldüğü gibi, taş duvar U-değerlerinde gerçekleştirilen D01, D02, D05 ve D07 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'lık bir değere sahip olduğunu göstermektedir. Bu değer, BEP-TR (t.y., s.27) tarafından 3. derece iklim bölgesinde sınıflandırılan Eskişehir ili için öngörülen 0,500 W/m²K değerine oldukça yakındır. Yalıtım katmanları içermese de taş duvar kurgusunun yüksek düzeyde bir ısıl kütle sunduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 4.5. TESTO435-2 ile yapı malzemelerine ait U-değeri ölçümleri (Güçyeter ve Günaydın, 2012)

Malzeme	Yapı Kabuğu Elemanı	Mekan	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Nokta Adedi	Max.	Min.	Ortalama	Std. Dev.	Kabul Edilen U Değeri
Taş Duvar	D01	Harim	31.03.22	3609	1.639	0.004	0.556	0.209	0.483
	D02	Harim	15.03.22	3530	0.707	0.01	0.588	0.096	0.607
	D03	Harim	13.03.22	3928	Ti – Td > 15°C sağlanamadı				
	D04	Harim	01.04.22	3595	Ti – Td > 15°C sağlanamadı				
	D05	Kadınlar Mahfili	15.03.22	3377	0.784	0.282	0.410	0.087	0.504
	D06	Kafe	15.03.22	3231	1.785	1.311	1.646	0.091	1.728
	D07	Minare	10.03.23	3530	0.484	2.119	0.658	0.221	0.553
Tuğla Duvar	D08	Kafeterya- Cami ortak duvar	15.03.22	3580	1.674	0.225	0.433	0.313	0.280

Simülasyon modeli üzerinde farklı malzemeye sahip elemanlar ayrı modellenerek, yapı üzerinden elde edilen U-değeri verilerine uygun malzeme atamaları yapılmıştır.

4.3.2.3. Kullanıcı varlığı, davranış ve aktivite verilerinin tespiti

International Energy Agency'nin (IEA) 2013 raporunda paylaştığı bina performans değerlendirmesinde kullanılan parametre seti içerisinde kullanıcı davranışı ve aktiviteleri bulunmaktadır (Yoshino vd., 2017, s.125). *Kullanıcı, adaptif (ortam şartlarını konfor yönünde dönüştürmeye yönelik) ve adaptif olmayan davranışlar (varlık/yokluk) sergilemekte ve bu davranışlar enerji performansını ve model kalibrasyon düzeylerini etkilemektedir (Güçyeter vd., Yayımlanmamış BAP Sonuç Raporu).*

ASHRAE standart kabullerine göre mekan içerisindeki kullanıcı mekana duyulur ve hissedilir ısı yaymaktadır (Güçyeter vd., Yayımlanmamış BAP Sonuç Raporu) bu nedenle model doğruluğu için kullanıcı verilerinin simülasyona tanımlanması gerekmektedir. Tanım gerektiren kullanıcı davranışı, yapı içerisinde kesikli periyotlarda HOB0 UX90-005 kullanıcı varlığı veri kaydedici ile takip edilmiş, süreç içerisinde gözlemlenmiş ve yapı görevlilerinden edinilen bilgilere göre düzenlenmiştir. Model içerisinde kullanıcı verileri cami ve kafeterya için ayrı düzenlenmiştir. Kullanıcıların aktiviteleri ve aktivite yoğunluklarına bağlı ısı kazançlar ASHRAE Handbook of Fundamentals SI (2017) ve ASHRAE 55 standartları doğrultusunda hesaplanmıştır.

Örneklem yapı içerisinde kullanıcı varlığı ve davranış verileri her mekan için ayrı takip edilmiş ve bağımsız değerlendirmelere alınmıştır. Değerlendirme, ısıtılan mekanlar olarak kafeterya mekanı ve kadın-erkek ibadet alanları kapsamında tutulmuştur. Mekan içerisindeki kullanıcı sayıları genel kabul olarak kafeterya sahibi ve cami imamından öğrenilmiştir. Cami içerisinde farklı namaz vakitlerinde değişkenlik gösteren cemaat sayısı imam tarafından belirtilen sayılar doğrultusunda Tablo 4.6.'da sunulduğu gibi ısı kazanç hesabına eklenmiştir.

Tablo 4.6. Örneklem yapı kullanıcı ısı kazanç hesapları (Güçyeter vd. 'nin BAP sonuç raporundan (2022) uyarlanmıştır.)

	Alan	Aktivite	Ort. Kullanıcı Sayısı	Duyulur Isı Kazancı	Gizli Isı Kazancı	Aralıklı Aktivite			DIK (W/m ²)	GİK (W/m ²)
Kafeterya	261,25	Ayakta, yürüme	20	4,77	3,56	40%	1,91	1,42	4,50	3,12
		Oturma, hafif iş		4,19	1,95	40%	1,68	0,78		
		Hafif iş		4,59	4,59	20%	0,92	0,92		
Erkek Cemaat	Sabah Namazı 270,45	Oturma, hafif iş	10	2,92	1,89	20%	0,58	0,38	3,01	2,46
		Ayakta, yürüme		3,07	2,29	45%	1,38	1,03		
		Kısmen aktif, hafif iş		3,00	3,00	35%	1,05	1,05		
	Öğle-İkinci Namazı 270,45	Oturma, hafif iş	110	32,13	20,7	20%	6,43	4,15	33,15	23,90
		Ayakta, yürüme		33,76	25,2	45%	15,1	11,3		
					2		9	5		
		Kısmen aktif, hafif iş		32,95	24,0	35%	11,5	8,40		
					0		3			
	Akşam-Yatsı Namazı 270,45	Oturma, hafif iş	35	10,22	6,60	20%	2,04	1,32	10,55	7,60
		Ayakta, yürüme		10,74	8,02	45%	4,83	3,61		
		Kısmen aktif, hafif iş		10,48	7,64	35%	3,67	2,67		
Kadın Cemaat	85,3	Oturma, hafif iş	30	8,21	5,28	20%	1,64	1,06	8,68	6,21
		Ayakta, yürüme		8,79	6,45	45%	3,96	2,90		
		Kısmen aktif, hafif iş		8,79	6,45	35%	3,08	2,26		

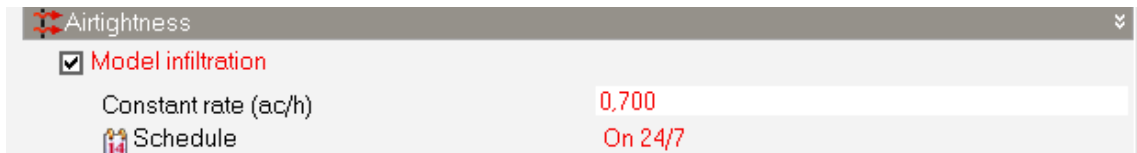
ASHRAE Standardında yer alan aktivitelere göre kullanıcı davranışları üç sınıfa ayrılmış ve mekan içerisindeki aktivite oranları gözlemlere dayalı araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur. Aktivite kararları cami içerisindeki ibadet hareketlerine en yakın davranış sunan ve standart içerisinde yer alan aktivitelerden seçilmiştir. Kullanıcı sayısının en fazla olduğu öğle ve ikinci vakitlerinde kullanıcı kaynaklı ısı kazanç en yüksek değer sunmaktadır (Tablo 4.6.).

4.3.2.4. Bina hava sızdırmazlığı

Bina hava sızdırmazlığı, havalandırma sistemleri dışında bina kabuğundaki çatlak vb. istenmeyen sızıntı noktalarının sebep olduğu yapı içi ve dışına doğru olan hava

sızıntılarına karşı direnç olarak tanımlanmaktadır (Schild, 2010, s.11). Binaların enerji kullanımı ve iç mekan hava kalitesi üzerinde etkin bir parametredir (Poza-Casado vd., 2022, s. 1). Enerji kullanımı ve iç mekan hava kalitesine olumsuz etkisi ile birlikte kontrolsüz hava akışı kaynaklı nemli hava, yapı kabuğu üzerinde yoğuşmaya sebep olmakta ve buna bağlı mikrobiyolojik oluşumlar dolayısıyla sağlıklı iç mekan koşulları meydana gelmektedir (Sherman ve Chan., 2004, s.3). Bina hava sızdırmazlık hesaplamalarında bina hacmi, kullanım alanı ve iç mekan ile dış ortam arasındaki cephe yüzey alanı dikkate alınmaktadır. Hava sızdırmazlık değerinin düşük olması bina kabuğunun hava geçirmezlik düzeyinin güçlü olduğunu göstermektedir (Schild, 2010, s.11).

Oluşturulan baz model, ölçülen değerler ve kullanılan simülasyon programındaki ASHRAE tabanlı varsayımlara uygun hazırlanmıştır. Bina sızdırmazlık değeri olarak uygulama içerisinde önerilen hava sızdırmazlık değeri (Airtightness) kabul alınmış ve model içerisindeki tüm zonlar için önerilen 0,700 (ac/h) değeri uygulanmıştır (Şekil 4.46.). Kabul alınan değer örneklem yapı ile uyumu yinelemeli kalibrasyon sürecinde ele alınacak ve yapı mekanları özelinde ilerletilen hesaplamalara göre hava sızdırmazlığı alternatifleri değerlendirilecektir.



Şekil 4.46. DesignBuilder içerisinde ASHRAE tabanlı önerilen sızdırmazlık değer görüntüsü

4.3.2.5. Baz modele ait bulgular (M0.0 Modeli)

Üst bölümde aktarılan yapı verileri doğrultusunda Tiryakizade Süleyman Ağa Cami için baz model oluşturulmuştur. 2022 yılı boyunca yapı üzerinden kesikli periyotlarda elde edilen iklim verileri yapının fiziksel özellikleri gözetilerek kurgulanan modele işlenmiştir. Hazırlanan baz modelin yapı davranışına benzer sonuçlar vermesi ve sonraki dönemlerde model üzerine uygulanacak müdahalelerin gerçek yapıya uygulanabilirliğinin güvenilirliği amacıyla simüle modelin gerçek yapı ile davranış benzeşimi ASHRAE Guideline 14'te yer alan RMSE (Ortalama Karekök Hata) ve MBE (Ortalama Çapraz Hata) hesaplamaları doğrultusunda, belirtilen sınırlar çerçevesinde

değerlendirilmiştir. Standartta yer alan hata denklemleri ve geçerli aralıklar Tablo 4.7.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.7. ASHRAE 14'e göre kalibrasyon sınır değerleri

$RMSE (\%) = \left(\frac{100}{T_{m,av.}} \right) \times \left[\frac{1}{n} \times \sum (T_s - T_m)^2 \right]^{0.5} \quad (1)$			
$MBE (\%) = \left(\frac{100}{T_{m,av.}} \right) \times \frac{\sum (T_s - T_m)}{n} \quad (2)$			
		Saatlik	Aylık
ASHRAE 14	MBE	± 10%	± 5%
	RMSE	30%	15%

İlk aşamada, model üzerine yapılan veri aktarımları ile birlikte baz model simülasyonu çalıştırılmış ve simülasyondan elde edilen saatlik ve aylık bazda sıcaklık-nem değerleri yerinde ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. İki veri seti üzerinden yapılan karşılaştırmada korelasyon katsayısı (r^2), simülasyon seti (T_s) ile ölçülen set (T_m) arasındaki ortalama fark, RMSE ve MBE değerleri hesaplanmıştır. Verilen denklemler içerisindeki $T_{m,av}$ yapı üzerinden ölçülmüş saatlik sıcaklık değerlerinin ortalamasını, T_s simülasyondaki sıcaklığı, T_m ölçülen sıcaklığı, n ise veri sayısını ifade etmektedir. Kesikli periyotlarda alınmış yerinde ölçüm tarihlerine karşılık gelecek simülasyon verileri ile tüm mekanlar için toplamda 15.912 saatlik karşılaştırma uygulanmıştır. Kalibrasyon değerlendirmesinde her mekan için yapılan hesaplama sonuçları Tablo 4.8.'de aktarılmıştır.

Tablo 4.8. Baz Modele ait iç mekan sıcaklık veri setlerinin karşılaştırması

Mekan Adı	Korelasyon Katsayısı (r^2)	Ortalama Fark (°C) ($T_m - T_s$)	Ortalama Ölçülen Sıcaklık ($T_{m,av}$)	Veri Sayısı (n)	RMSE (%)	MBE (%)	ASHRAE-14 Şartı
Kafeterya	0,80	3,2	19,6	5316	22,2	16,1	Sağlanmadı
Harim	0,77	4,8	19,1	5285	31,4	24,9	Sağlanmadı
Kadınlar Mahfili	0,75	5,7	19,2	5311	34,8	29,8	Sağlanmadı

Tablo 4.8.'de paylaşılan üç mekan içerisinde de Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarını kapsayan 5.200 saatin üzerinde veri değerlendirmesi

yapılmıştır. İzlenen ve simülasyondan elde edilen aylık ısıtma verilerinin karşılaştırmasında kafeterya için RMSE değeri 22.2%, MBE değeri ise 16.1% şeklinde saptanmıştır. Bu değerler harim bölümünde RMSE için 31.4%, MBE için 24.9%'dur. Kadınlar mahfilinde RMSE değeri 34.8%, MBE değeri 29.8% olarak saptanmış ve üç mekan arasındaki en yüksek hata oranlarını göstermiştir. Oluşturulan baz modelde tüm mekanlar kalibrasyon sınır değerlerinden yüksek farklılıklara sahip bulunmuştur. Dolayısıyla model üzerinde hata payını yükseltecek parametre ya da parametreler arayışının çalışma içerisinde kademeli olarak ele alınması ile yinelemeli kalibrasyon şema kurgusu planlanmıştır.

4.4. Model Kalibrasyon Süreci Bulguları

Üst bölümlerde baz modele ait bulgular paylaşılmış, ölçülen ve simüle edilen arasındaki saatlik karşılaştırmalarda korelasyon katsayısı en az 0,75 en yüksek 0,80 bulunmuştur. Üç mekan için de incelenen karşılaştırma sonuçlarının kalibrasyon sınır değerlerini karşılaşamadığı, gerçeğe yakın bir benzeşim sunmadığı gözlenmiştir (Tablo 4.8.). Kalibre model erişimi için kurgulanan şema yöntem bölümünde (Bölüm 3.5.) adımlar halinde aktarılmış, Şekil 3.14. ile süreç görselleştirilmiştir. Bu bölümde kalibrasyon adımları paylaşılmakta, parametre değişimleri ve modele etkileri sayısal veriler ile sunulmakta, bulgular tartışılmaktadır.

4.4.1. M1.0 modeli: Kullanıcı varlığı, davranışı ve aktivite parametresi

Baz modelden sonra M1.0 modelinde ilk parametre değişimi ele alınmakta, kullanıcı varlığı, kullanım sıklığı, davranışı ve aktivitelerine göre düzenlemeler M1.0 Rx-Rz adımlarında kademeli olarak modele yüklenmiş ve baz modele etkileri sunulmuştur.

4.4.1.1. M1.0-Rx modeli

M1.0-Rx adımında kullanıcı metabolizma hızları hesaplanmıştır. Kullanıcıya dair metabolizma hızında cinsiyet, yaş, kıyafet, aktivite değişkenleri dikkate alınmaktadır. Cami içerisindeki aktivite planlaması kısa süreli hareketlere bağlı bir kurguya sahiptir. Bu şekilde, kısa sürede değişen aktivitelere sahip bireyler için ASHRAE (2017, s.5) zaman ağırlıklı, ortalama metabolik hız hesabı önermektedir. Sunulan ortalama hesap, bir

saatten fazla süren aktiviteler için uygun gösterilmemektedir. Mevcut çalışma içerisindeki kullanıcı eylemlerine yönelik gözlem sonucu, namaz süresindeki hareket ritminin sunulan koşulları sağladığı görülmektedir. Bu doğrultuda namaz içerisindeki hareketler, ASHRAE kılavuzunda sunulan aktivite listesindeki en yakın karşılıkları ile planlanmış ve süreleri oransal aralıklar şeklinde oluşturulmuştur. Tablo 4.9.'da aktarıldığı gibi namaz süreci ASHRAE'de sunulmuş 3 aktiviteye bağlı tutulmuş ve aktivite aralıkları cami içerisinde yapılan gözlemlere göre kurgulanmıştır. Mevcut hesaplama ile zaman ağırlıklı metabolizma ortalaması 1.0 met olarak bulunmuş ve simülasyon içerisindeki cami mekanlarında metabolizma verileri güncellenmiştir.

Tablo 4.9. Cami içerisindeki eylemlere yönelik zaman ağırlıklı ortalama hesabı

Aktivite	Met.	Aralıklı Aktivite	Zaman Ağırlıklı Ortalama	Ortalama Met.
Oturma, hafif iş (seated, quited)	1.0	0,20	(0,20x1.0) +	1.0
Ayakta yürüme (standing, relaxed)	1.2	0,45	(0,45x1.2) +	
Kısmen aktif, hafif iş (reading, seated)	1.0	0,35	(0,35x1.0) = 1,09	

4.4.1.2. M1.0-Ry modeli

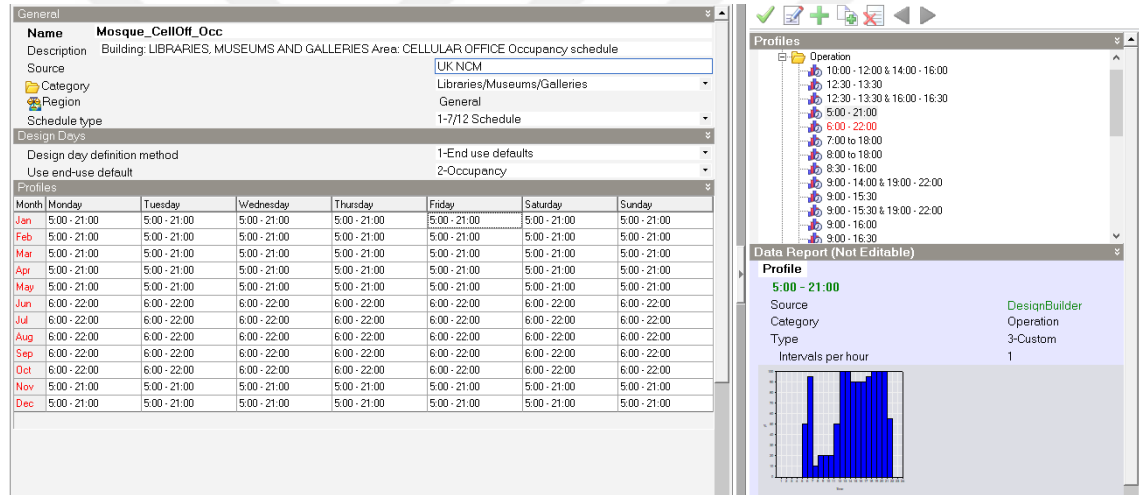
5. M1.0-Ry adımı kullanıcıların aktivite düzenlemeleri ve metrekare başına kullanıcı bilgileri güncellenmiştir. Mekanlarındaki kullanıcı sayıları cami ve kafeterya görevlilerinden temin edilmiş ve çalışmada görev alan araştırmacı gözlemlerine dayalı kullanıcı sayılarının gün içi dağılımları belirlenmiştir. Bu durumda kafeteryadaki kullanıcı sayısı ortalama 20 olarak kararlaştırılmıştır. Cami içerisinde ise namaz vakitlerine göre değişkenlik gösteren cemaat sayısında en yüksek kullanıcı öğle ve ikindi namaz vakitlerinde tespit edilmiş ve bu durum, caminin merkezi konumuna ve etraftaki esnaf, ziyaretçi yoğunluğuna bağlı yorumlanmıştır. Cami içerisindeki cemaat, sabah namazında 10-20 kişi aralığında, öğle ve ikindi vakitlerinde yaklaşık 100-110 kişi civarında, akşam ve yatsı vakitlerinde ise 30-40 kişi aralığında kullanıcı gözlenmiştir. Belirtilen rakamlar erkek cemaat için geçerli olup, kadın cemaat 20-30 kişi aralığında daha seyrek ziyaret göstermektedir. Gözlemlerin cami ve kafeterya görevlileri tarafından düzenlenmesi ve son rakam teyitlerinin ardından simülasyonda yer alan m² başına kişi sayıları Tablo 4.10. hesaplamalarına uygun şekilde girilmiştir. Erkek cemaat sayısının en yüksek kişi sayısına ait rakamlar üzerinden hesabı, cuma yoğunluğundan dolayıdır.

Tablo 4.10. Örneklem yapı mekanlarının metrekare başına kullanıcı hesap tablosu

Zon	Alan	Kullanıcı sayısı	m ² başına kişi sayısı
Kafeterya	163,80m ²	20	8,2
Erkek Cemaat (Harim)	191,75m ²	100 (tüm namaz vakitlerine göre en yüksek kullanıcı alınmıştır)	1,9
Kadın Cemaat (Kadınlar Mahfili)	70,50m ²	30	2,3
Son Cemaat	37,20 m ²	20	1,86

4.4.1.3. M1.0-Rz modeli

M1.0-Rz düzenlemesinde ise örneklem yapı kullanıcılarının kullanım sıklığı değerlendirmesi yapılmış ve yapı bölümlerinin çalışma zamanları, kullanıcı varlık-yokluk verileri HOBO UX90-005 kayıt cihazı verilerine göre simülasyona aktarılmıştır.



Şekil 4.47. Design Builder zaman-kullanıcı yoğunluğu şablon ara yüzü (Cami mekanı)

Simülasyon içerisindeki hazır çalışma-zaman çizelgelerinde cami fonksiyonun ait şablon bulunmamasından kaynaklı örneklem yapıdaki davranış ölçümlerine uygun HOBO UX90-005 veri destekli yeni şablon oluşturulmuştur. Her mekan için oluşturulan aylık, saatlik kullanıcı yoğunluğu şablonları Şekil 4.47.'de sunulmuştur.

Yıl içerisinde değişen namaz saatleri, ramazan ayı gerekçesi ile cami ve kafeterya kullanım durumlarındaki değişiklikler dikkate alınmış, düzenlemeleri şablonlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.47'de aktarıldığı gibi tüm aylar çerçevesinde günlük kullanım saatlerinin düzenlenmesi ve saatlik bazda kullanıcı yoğunluklarının oluşturulması mümkündür.

M1.0 adımı kapsamında kullanıcı odaklı tüm veriler kademeli olarak simülasyon baz model üzerine eklenmiş ve parametre etkilerinin çıkarımları RMSE ve MBE sayısal değerleri üzerinden gözlenmiştir. Tablo 4.11.'de sunulduğu gibi M1.0 adımının son aşaması olan M1.0-Rz'nin sonuçlarında harim bölümü için RMSE değerinin 31.4%'ten 28.1%'e düştüğü, MBE değerinin ise 24.7%'den 20.0%'da düştüğü görülmüştür. MBE değerlerindeki +,- kullanımları sadece yönelimi belirtmekte, negatif ya da pozitif anlam içermemektedir. Yeni model üzerindeki harim mekanında gözlenen düşüş ve kalibrasyon sınır değerlerine doğru yönelim kafeterya mekanında da gözlenmiştir.

Tablo 4.11. M1.0 kullanıcı varlığı, davranışı ve aktivite parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
2	M1.0-Rx	RMSE	32,1	33,4	23,6
		MBE	-25,5	-27,8	-13,8
3	M1.0-Ry	RMSE	32,1	33,4	23,6
		MBE	-25,5	-27,8	-13,8
4	M1.0-Rz	RMSE	28,1	35,9	20,7
		MBE	-20,0	-29,3	-8,2

Kafeterya için MRSE değeri baz modelde 22.2% iken M1.0 model sonunda 20,7%'ye düşmüş, MBE değeri ise -16.1%'den -8.2%'ye inerek ciddi bir değişim göstermiştir. Kadınlar mahfilinde M1.0 etabında uygulanan müdahaleler etkili sonuçlar vermemiş, 34.8% RMSE değeri 35.9%'a yükselmiş, -29.8% olan MBE değeri -29.3% bulunmuştur (Tablo 4.11.). M1.0 etabı içerisindeki adımların baz model etkisi tablo içerisinde incelenebilir şekilde sunulmuş ve her adımın standart değerlerinin sağlanmasına pozitif etki sunmadığı, yer yer sınırdan daha da uzaklaşmanın yer yer yaklaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. İlk etabın tamamlanmasının ardından M2.0 etabı devreye alınmış ve hem baz model üzerindeki tekil etkisi hem de M1.0 ile birleşik etkisi incelenmiştir.

4.4.2. M2.0 modeli: Pencere parametresi

M2.0 modeli için yapı üzerindeki pencere dağılımları, pencere/duvar oranlaması ile elde edilmiş, cephedeki açıklıkların ölçüleri yapıya uygun, cephe bazlı ele alınmıştır.

Yapı malzemelerinde planlanan pencere girdileri yapı üzerindeki U değeri ölçümlerine yönelik yeniden teyit edilmiş ve çerçeve-cam malzemeleri güncellenmiştir (Tablo 4.12.).

Tablo 4.12. Örneklem yapı bölümlerine ait pencere özellikleri

Yapı Bölümü	Pencere/duvar oranı	Pencere En- Yükseklik	Pencere Tipi
Harim	10%	1,15/2,70	Single Glazing, clear, no shading
Son Cemaat Bölümü	20%	0,90/1,30	
Kadınlar Mahfili	5%	0,90/1,30	Wooden window frame
Kafeterya	10%	1,50/1,90	

Yapı içerisindeki pencere açık-kapalı durumları kullanıcı odaklı adaptif bir davranış olmakla birlikte sürekli takibi gözlem yöntemi ile mümkün olmamaktadır. Bu gibi kontrollü takip gerekliliklerinde HOB0 UX90-001 kayıt cihazı ile izlemeler gerçekleştirmek mümkün (Güçyeter vd., Yayımlanmamış BAP Sonuç Raporu) olmakla birlikte mevcut çalışmada cihaz erişimi sağlanamamış ve pencere açma-kapama girdileri program içerisindeki varsayım ölçeğinde bırakılmıştır.

M2.0 içerisinde yapılan değişiklikler öncelikle baz model üzerine tekil parametre olarak uygulanmış ardından M1.0 ve M2.0 değişkenleri birlikte kurgulanıp birleşik yineleme gerçekleştirilmiştir. M2.0 etabındaki değişkenlerin baz model üzerindeki tekil etkisi harim ve kadınlar mahfili için pozitif yöndedir. Harim mekanı için RMSE değeri 26.8%'e, MBE değeri ise -19.8%'e düşmüştür. Kadınlar mahfilindeki RMSE değeri 34.3%, MBE değeri -28.7% olup harim mekanındaki kadar etki gözlenmemiştir. Kafeterya için değişkenlerin etkisi minimum düzeydedir. RMSE değerinde baz modele göre bir değişiklik yok iken MBE değeri -15.0%'a düşmüştür (Tablo 4.13.).

Tablo 4.13. M2.0 pencere parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
5	M2.0	RMSE	26,8	34,3	22,2
		MBE	-19,8	-28,7	-15,0
6	M1.0+M2.0	RMSE	32,1	34,7	23,6
		MBE	-25,6	-29,2	-13,9

Birleşik parametre sonuçlarında ise elde edilen etki sonuçları negatif bulunmuş baz model üzerindeki tekil parametre etkisinin tersine hareket gözlenmiştir. Mevcut zıt

hareketlerin tüm etaplarda gözlenme ihtimali yüksektir. Kalibrasyon sınırlarına dengeli yaklaşım için model yinelemelerinin devamlılığı ve her aşamada tekil-birleşik analizlerin gözlenmesi baz model üzerindeki parametre etkisine dair çıkarımlar sunmaktadır. M2.0'ın etki gücü hedeflenen kalibrasyon sınır değerlerinden oldukça uzak bulunsa da Şekil 3.13. diyagramında sunulan ilerleyiş planı devam ettirilmeli ve her etabın etki gücü model üzerinden analiz edilmelidir.

4.4.3. M3.0 modeli: Yapı malzemelerine ait U-Değerleri

M3.0 etabında bina kabuğunun fiziksel özellikleri için yürütülen ölçüm adımları verilmiş, kullanılan TESTO 435-2 probunun çalışma prensibi aktarılmıştır. Probun kullanım şartları ve uygulama esnasındaki ortam koşullarına yönelik kısıtlar belirtilmiş ve 2022-2023 yıllarında tekrarlanan ölçüm sonuçları paylaşılmıştır (Tablo 4.5.). Bu bölümde probun uygun koşullarda sağlanamaması durumu göz önüne alınarak ASHRAE ve TS 825 standart ve kılavuzlarında belirtilen yapı malzemeleri U-değerleri dikkate alınmış ve baz model üzerine varsayılan (R_x), ölçülen (R_y) başlıklarında denemeler gerçekleştirilmiştir. Her iki başlık altında denenen malzeme ve U-değerleri Tablo 4.14.'te paylaşılmıştır.

4.4.3.1. M3.0 modeli: Yapı malzemelerine ait U-Değerleri

M3.0-R_x adımımda ASHRAE ve TS 825'te yer alan değerler mevcut örneklem yapı durum ve malzemelerine uygun şekilde seçilmiş ve karşılaştırmalı olarak bir araya getirilmiştir. Kılavuzlarda malzeme özelliği aktarımında ya da kısaltma ifadelerinde oluşan farklılıklara göre oluşturulan tablo içerikleri tablo devamında açıklamaları ile sunulmuştur. İki farklı kılavuzdaki farklı değerlerin ortalaması ve yakın verileri alınarak oluşturulan M3.0-R_x değerleri Tablo 4.14.'e ait R_x satırında paylaşılmıştır.

Tablo 4.14. ASHRAE ve TS 825 'te yer alan malzeme U-değerleri

ASHRAE	U _D	U _{Dt}	U _Ç	U _d	U _{d*}	U _P	U _K
	0.580		0.034	0.282	0.730	1.20	1.40
TS825 (3.Bölge)	U _D	U _T		U _t		U _P	
	0.500	0.30 (Tavan)		0.45		2.4	
Kullanılan Değerler R_x	0.520	0.30		0.30	0.73	1.6/2.4	1.40

Tablo 4.14. (Devam) ASHRAE ve TS 825'te yer alan malzeme U-değerleri

Kullanılan	0.550	0.96/1.40	0.4	0.48	0.93	3.3/2.8	2.0
Değerler Ry							

UD: Dış duvar için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

UDt: Tuğla duvarlar için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

UÇ: Döşemesiz çatı arası için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

UT: Tavan için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

Ut: Taban için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

Ud: Döşeme için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

Ud*: Zemine oturan yalıtımsız döşeme için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

UP: Pencere için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

UK: Kapı için ısıl geçirgenlik katsayı değeri

4.4.3.2. M3.0-Ry modeli

M3.0-Ry adımıında Tablo 3 ölçüm verileri temel alınmış, yapı üzerinden ölçümü alınamayan ya da TESTO 435-2 koşullarının sağlanamadığı malzeme U-değerleri varsayım olarak kabul edilmiştir. Varsayılan ve ölçülen değerler üzerinde iyileştirme denemeleri uygulanmış ve bu düzenlemede U-değerlerine % ± 5.00 artırma ve düşürme işlemleri uygulanarak denemeler yapılmış en iyi sonuçlar son kabul olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.15.).

Tablo 4.15. M3.0 U-değeri parametrelerinin baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
		RMSE	37,8	39,8	25,2
7	M3.0-Rx	MBE	-33,3	-36,2	-23,1
		RMSE	31,0	32,8	24,8
8	M3.0-Ry	MBE	-23,9	-26,8	-22,8
		RMSE	26,3	36,4	23,1
9	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry	MBE	-11,0	-28,9	-7,3

Tablo 4.15., M3.0 etabında incelenmiş tüm adımların baz model üzerine etkisini sunmaktadır. Varsayım odaklı planlanan M3.0-Rx modeli baz model sonuçlarını negatif

yönde etkilemiş ve kalibre model davranışının tersine sonuçlar tüm mekanlarda gözlenmiştir. Bu durum M3.0-Rx adımının örneklem yapı odaklı yanlış veriler sunduğunu göstermektedir. M3.0-Ry adım sonuçları Rx adımına kıyasla daha iyi değerler sunmuş ve mevcut etap için kabul edilir değerler olarak kararlaştırılmıştır. Bu kabul, mevcut etap için sınırlı olmakla birlikte ilerleyen etaplarda U-değerleri üzerinde yeni düzenleme ihtiyacı devam etmektedir.

9 Nolu adımda ilk etaptan itibaren gerçekleştirilmiş tüm parametre değişikliklerinin birleşik modeli oluşturulmuştur. Elde edilen değerler, harim ve kafeterya mekanları için şu ana kadar elde edilmiş en iyi, kalibre model sınırlarına en yakın değerler sunan model verileri sunmuştur. Birleşik model kapsamında harim bölümüne ait RMSE 26.3% ve MBE -11.0%, kadınlar mahfili için RMSE 21.2% ve MBE -12.4% bulunmuştur. Kadınlar mahfili için elde edilen değerler ise RMSE 36.4% ve MBE -28.9% şeklinde olup diğer mekanların aksine yükselen değerler göstermiştir. Uygulanan parametrelerin harim ve kafeterya için pozitif yönde etkisi gözlenirken kadınlar mahfilinin negatif hareketi bu alandaki model kontrolü gerekliliğini gündeme getirmiştir.

4.4.4. M4.0 modeli: Model Revizyonu

M3.0 etabında gözlenen kadınlar mahfili sonuçları, yapıya ait model geometrisi kontrolünü gerektirmiştir. Bu nedenle M4.0 adımında öncelikle kadınlar mahfiline ait zon kontrolleri, mekan birleşimleri ve malzeme verileri kontrol edilmiş, üst etaplardaki tüm parametre değişimleri mevcut alanda yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 4.16. M4.0 model revizyonunun baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
9	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry	RMSE	26,3	36,4	23,1
		MBE	-11,0	-28,9	-7,3
10	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry+M4.0	RMSE	26,3	21,2	23,1
		MBE	-11,0	-12,4	-7,3

Kadınlar mahfili, tüm mekanın kapalı yüzeyler ile çevrili olmadığı, harim mekanının üst kotuna asma kat olarak eklenen ve bu nedenle tek hacim olarak incelenemeyen, alt zonlardan oluşan bir mekanı ifade etmektedir. Simülasyon üzerinde

kadınlar mahfili için yapılan tüm parametre düzenlemelerinin alt zonlarda da tekrarlanması gerekliliği dikkat çekmiş ve önceki etaplarda gerçekleştirilen parametre değişiklikleri uygulanmıştır.

Tablo 4.16’da M4.0 etabında uygulanan model revizyonunun etkileri gözlenmektedir. 9 Nolu adımda gözlenen kadınlar mahfili değerlerindeki yükseliş yapılan model düzeltmeleri ile diğer mekanlar ile eşdeğer duruma getirilmiştir. Böylece kalibrasyon için gerekli, saatlik RMSE (30%) ve MBE($\pm 10\%$) değerleri tam anlamıyla sağlanamamış olmasına rağmen uygulanan parametre değişkenleri ve model revizyonlarının tüm mekanlar için olumlu yöndeki ilerleyişi sayısal değerler ile ispatlanmıştır.

4.4.5. M5.0 modeli: Sızdırmazlık değerlerinin hesaplanmaya bağlı varsayımları

M5.0 etabı, varsayılan olarak ele alınan bina sızdırmazlık katsayılarının hesaplanan değerler ile yeniden düzenlenmesini içermektedir. Baz model oluşumunda aktarıldığı gibi tüm mekanlar için simülasyon programının sunduğu, varsayılan sızdırmazlık değeri 0,70 (ac/h) kabul alınmıştır (Şekil 4.46.). Bina sızdırmazlıkları için uygulanan hesaplama, mekan hacimleri, kullanım alanları ve mekanların dış ortam ile bağlantılı cephe yüzeylerini dikkate almakta ve bu sebeple programda atananın aksine her mekan için ayrı sızdırmazlık değerleri sunmaktadır (Tablo 4.17.).

Tablo 4.17. Mekanlar özelinde sızdırmazlık varsayım aralıkları için hesaplama yöntemi

Mekan	Hacim	Yüzey Alanı	Kullanım Alanı	Hacim/Yüzey (Ae/Ve)	En iyi uygulamalar için oran (x3)	Normal uygulamalar için oran (x7)	
Z01-Kafeterya	507,8	c1	37,7	163,80	0,20 (101,3/507,8)	0,60 (0,20x3)	1,40 (0,20x7)
		c2	27,3				
		c3	36,3				
		101,30					
Z02-Harim	1395,4	c1	92,8	219,80	0,20 (278,4/1395,4)	0,60 (0,20x3)	1,40 (0,20x7)
		c2	92,8				
		c3	92,8				
		278,40					
Z03-Son Cemaat	104,2	c1	8,05	37,20	0,38 (40,1/10,2)	1,15 (0,38x3)	2,69 (0,38x7)
		c2	32,05				
		40,10					

Tablo 4.17. (Devam) Mekanlar özelinde sızdırmazlık varsayım aralıkları için hesaplama yöntemi

Z04- Kadınlar Mahfili	170,2	c1	26,65	74,00	0,28 (47,4/170,2)	0,84 (0,28x3)	1,96 (0,28x7)
		c2	13,55				
		c3	7,5				
			47,70				

Tablo 4.17.'de sunulan hesaplama yönteminde iyi ve normal uygulama aralıkları elde edilmiştir. Mevcut aralık, incelenen yapıya atanacak hesaplamalı varsayımın sınırlarını belirtmekte ve bina sızdırmazlık oranının en düşük (x3) ve en yüksek (x7) sayısal değerlerini sunmaktadır. Mekan özelliklerine bağlı hesaplama yöntemi ile sunulan aralık içerisindeki hangi değer gerçek mekan sızdırmazlık katsayısına uygunluğu yinelemeli denemeler ile elde edilmiş ve en yakın katsayı kararı denemeler sonucu elde edilmiştir. Bu denemeler M5.0 modelinin alt adımlarını oluşturmakta ve denenen katsayıların model üzerine etkisi RMSE ve MBE değerleri ile sorgulanmaktadır. Belirtilen aralıktaki katsayı denemeleri, normal uygulamalar için önerilen katsayı üzerine uygulanan farklı oranlamalar ile elde edilmiştir. Tüm oran denemeleri bölüm sonunda 50%-65% aralığına kadar kısıtlanmış, gerçek sızdırmazlık değer arayışının katsayı aralığı daraltılmış, daraltılan katsayı denemelerinin model RMSE-MBE değerlerine yansımaları Tablo 4.18'de Rx, Ry, Rz adımları ile 3 çerçevede paylaşılmış, Tablo 4.19'da baz model değerleri ile kıyası sunulmuştur.

Tablo 4.18. M5.0 etabında ele alınan hesaplamalı sızdırmazlık varsayım karşılaştırmaları

Mekan	Normal uygulama İçin katsayı	Rx- 65%			Ry- 60%			Rz-55%		
		Sızdırmazlık	RMSE	MBE	Sızdırmazlık	RMSE	MBE	Sızdırmazlık	RMSE	MBE
Z01- Kafeterya	1,40	0,91 (1,40x0,65)	23,2	-7,3	0,84 (1,40x0,60)	22,9	-6,28	0,77 (1,40x0,55)	23,0	-6,4
Z02- Harim	1,40	0,91 (1,40x0,65)	28,6	-19,1	0,84 (1,40x0,60)	27,7	-17,2	0,77 (1,40x0,55)	28,0	-17,3

Tablo 4.18.(Devam) M5.0 etabında ele alınan hesaplamalı sızdırmazlık varsayım karşılaştırmaları

Z04-	1,96	1,28	36,4	-28,9	1,18	34,0	-24,9	1,08	34,9	-26,5
Kadınlar		(1,96x0,65)			(1,96x0,60)			(1,96x0,55)		
M.										

Rx adımımda 65%, Ry adımımda 60%, Rz adımımda 55% oranları, tüm mekanlar için ele alınan sızdırmazlık katsayıları ve katsayıların modele uygulanması ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.18.'de paylaşılmıştır. Karşılaştırma sonucunda incelenen katsayılar içerisinde en yakın RMSE, MBE değerlerine M5.0-Ry adımımda ulaşılmış ve bu değerler kafeterya ve kafeterya için 0.84 (ac/h), kadınlar mahfili için 1.18 (ac/h) olarak modele işlenmiştir (Tablo 4.18.). İncelenen 3 adıma ait kıyasta en iyi sonuç verilerinin Ry adımımdan elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.19. M5.0 etabındaki hesaplamalı sızdırmazlık varsayımlarının baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0- Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
10	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry +M4.0	RMSE	26,3	21,2	23,1
		MBE	-11,0	-12,4	-7,3
11	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry +M4.0+ <u>M5.0-Rx</u>	RMSE	28,6	36,4	23,2
		MBE	-19,1	-28,9	-7,3
12	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry +M4.0+ <u>M5.0-Ry</u>	RMSE	27,7	34,0	22,9
		MBE	-17,2	-24,9	-6,28
13	M1.0-Rz+M2.0+M3.0-Ry +M4.0+ <u>M5.0-Rz</u>	RMSE	28,0	34,9	23,0
		MBE	-17,3	-26,5	-6,4

Tablo 4.19.'da ise M5.0 etabında incelenen tüm adımların RMSE, MBE değerleri baz model sonuçları ile kıyaslanmıştır. Paylaşılan 3 kalibrasyon denemesine ait sonuçlar incelendiğinde, ASHRAE kılavuzunda belirtilen kalibrasyon sınır değerlerinden oldukça uzak olduğu, M4.0 etabındaki 10. adım verilerinde yaklaşılan sınır değerlerin kaybedildiği fakat aynı zamanda baz modele ait RMSE, MBE değerlerinde iyileştirme sağladığı görülmektedir. Bu durum, baz modelde kabul alınan, simülasyon programının sunduğu 0.700 varsayımının incelenen gerçek yapı için uygun olmadığını, yapıya göre

değerin düşük kaldığını ve yapıya ait sızdırmazlığın baz modeldeki kadar güçlü olmadığını belirtmektedir.

Varılan bina kabuğuna ait sızdırmazlık bulguları, sızdırmazlık değerlerinde deneme ve düzenlemelerin devam etmesi gerektiğini göstermektedir. Yapı kabuğunun sızdırma potansiyelinin daha düşük olduğuna dair bulgular için sızdırmazlık katsayısı incelenenden daha yüksek alınarak modele etkisi sorgulanacaktır. Bu durumda, M3.0 etabında bahsedilen tekrar inceleme gerekliliğine M5.0 etap tekrarı da dahil olmuştur.

4.4.6. M3'.0 modeli: U-değerlerinde revizyon

Üst bölümde, M3.0 etabında uygulanan müdahaleler sonucu M3.0-Ry düzeltmesi, baz model değerlerine pozitif etkilerinden dolayı kabul alınmış ve sonraki etaplarda bu U-değerleri kullanılmıştır. Mevcut durumda kalibrasyon denemelerinin halen istenen aralığı sağlamadığı görülmüş ve önceki etaplar üzerinde yeni düzenlemeler uygulanmıştır. Bu etap içerisinde, kabul alınan U-değerleri üzerine iki farklı yöntem uygulanmıştır. Birinci yöntem, ölçülen U-değerleri üzerinde 5-10% ölçeklerinde artırma-düşürme uygulamalarını içermektedir (Tablo 4.20.). İkinci yöntem ise incelenen örneklem yapıya ait uygulama projelerinden elde edilen malzeme verilerinin TS 825'e uygun U-değeri hesaplamalarını içermektedir. Ölçülen U-değerleri ile hesaplanan U-değerlerinin karşılaştırılması sonucu model uygulamaları devam ettirilmiş ve gerçek yapıya en uygun değer kararları bu etapta verilmiştir.

Tablo 4.20. M3.0 etabında Kabul alınan U-değerleri ve M3'.0 etabında uygulanan aşamalar

Malzemeler	Mevcut U değeri	Rx +5%	Rt -5%	Ry -10%	Rz +10%
Pitched Roof	0,450	0,47	0,43	0,40	0,50
Internal partitions	1,054	1,10	1,00	0,95	1,15
Semi-exposed walls	1,487	1,55	1,42	1,34	1,64
Ground floor	1,573	1,65	1,49	1,41	1,73
Basement ground floor					1,73
Internal floor	0,980	1,03	0,93	0,79	1,08
Walls	0,550	0,58	0,52	0,49	0,62
Internal	1,990	2,09	1,89	1,79	2,19
Roof	1,000	1,05	0,95	0,90	1,10
External Door	5,429	5,70	5,16	4,92	5,92
Internal Door	0,354	0,37	0,33	0,31	0,39
Wooden window frame	3,633	3,81	3,45	3,27	3,66

Tablo 4.20.'de M3.0 etabında kabul alınan U-değerleri, bu U-değerlere karşılık gelen program içerisinde kullanılmış malzeme isimleri ve bu etabın ilk yönteminde uygulanacak artış ve düşüşlerin karşılık geldiği yeni değerler sunulmaktadır. U-değerleri için uygulanan ilk yöntem olan ölçülen veriler üzerinde minimum müdahale alternatifleri son etapta kabul alınan 12nolu model üzerine uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.21. M3'.0 ölçülen U-değerlerine ait alternatif model denemeleri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
14	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ M5.0-Rz+ M3'.0-Rx	RMSE	27,1	34,6	22,6
		MBE	-17,4	-26,3	-8,2
15	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ M5.0-Rz+ M3'.0-Rt	RMSE	27,0	34,1	22,0
		MBE	-17,8	-26,2	-8,0
16	M1.0-Rz+M2.0+M4.0+ M5.0-Rz+ M3'.0-Ry	RMSE	26,8	33,6	21,8
		MBE	-18,1	-26,1	-7,9
17	M1.0-Rz+M2.0+M4.0+ M5.0-Rz+ M3'.0-Rz	RMSE	26,4	32,7	16,1
		MBE	-17,3	-25,5	-7,7

Ölçülen değerler üzerinde yürütülen yüzdelik artış ve düşüşler dört çerçevede tutulmuş, Rx (+5%)-Rt (-5%)- Ry (-10%)-Rz (+10%) şeklinde planlanmıştır. 12nolu model üzerine uygulanan farklı U-değerlerine ait en iyi sonuç, kabul edilen U-değeri üzerine eklenen 10%'luk payda ile sağlanmıştır (Tablo 4.21., 17nolu model). Denenen modellerde kafeterya mekanının kalibrasyon sınırları içerisinde olduğu görülse de cami mekanları için kalibrasyon yinelemeleri devam ettirilmekte ve planlanan yeni müdahaleler tüm mekanlara aynı şekilde düzenlenmektedir.

Mevcut etapta bahsedilen ikinci yöntem, yapı malzemesi ısıl geçirgenlik katsayısı güvenilirliği için aynı yapı malzeme kurgularının proje verileri doğrultusunda TS 825 Standartında belirtilen değerlere göre hesaplanmasını, ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılmasını içermektedir. Tablo 4.22.'de projeden erişilen ve karşılaştırma gerekliliği gözetilen duvar kurgusu incelenmiş ve M3.0 etabında kullanılan TESTO 435-2 ölçüm verileri kullanılmıştır. Tablo aktarımında ele alınan taş duvar kurgusuna ait bulgularda ölçülen ve hesaplanan değerlerin birbirlerinden farklı olduğu gözlenmiş ve bu bulgu, M3'0 etabında tekrar ele alınan U-değeri araştırmalarının gerekliliğini teyit etmiştir (Tablo 4.22.).

Tablo 4.22.Yapı kabuğuna ait TESTO 435-2 U-Değer ölçümleri, TS 825 U-Değeri hesaplamaları ve ortalama değer

Ölçülen U Değerleri	Duvar Tipi	Yapı	Mekan	Ölçüm	Ölçüm	Maks.	Min.	Ort.	Std.	Kabul
		Kabuğu		Tarihi	Nokta				Dev.	Edilen
		Elemanı			Adedi					U
										Değeri
Ölçülen U Değerleri	Taş Duvar	M01	Harim	31.03.22	3609	1.639	0.004	0.556	0.209	0.483
		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	Birim Hacim	Isıl İletkenlik	Isıl İletkenlik	R Toplam	Direnci R	R Toplam	Isıl Geçirgenlik	Katsayısı U
		(m)	Kütlesi	Hesap Değeri	Direnci R					
Hesaplanan U Değerleri	Taş Duvar	0,70	1	1000 kg/m3	0,50		1,40	1,57		0,64
			2	1200 kg/m3	0,56		1,25	1,42		0,70
			3	1400 kg/m3	0,70		1,00	1,17		0,85
			4	1600 kg/m3	0,79		0,89	1,06		0,95
			5	1800 kg/m3	0,99		0,71	0,88		1,14
			6	2000 kg/m3	1,10		0,64	0,81		1,24
			7	2200 kg/m3	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)			((0,548 +0,990) / 2)	
		0,548				0,990			0,724	
		17No'lu Model				0,62				
		U-değeri								
		18No'lu Model				0,724				
		U-değeri								

Benzer bulgular Francis vd. (2015) ve Baker (2011) tarafından da saptanmıştır. Francis vd. (2015) 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 elemanlarının özelliklerindeki olası değişimlerden ve malzeme içerisindeki gözenek konfigürasyonlarına bağlı hava boşluklarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Benzer

şekilde, Biddulph vd. (2014) 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 (2011) 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, ışıınım gibi çevresel koşullarından 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 yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, mevcut etapta ölçülen, hesaplanan ve her ikili değerin ortalaması olan U değeri simülasyona entegre edilerek en iyi kalibrasyon düzeyinin hangisi ile sağladığı Tablo 4.23.'te tartışılmaktadır.

Tablo 4.23.Ölçülen ve hesaplanan U-değeri ortalamasının denendiği model denemesi

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
17	M1.0-Rz+M2.0+M4.0+ M5.0-Ry+ M3'.0-Rz	RMSE	26,4	32,7	16,1
		MBE	-17,3	-25,5	-7,7
18	M1.0-Rz+M2.0+M4.0+ M5.0-Ry+ M3'.0-Rq	RMSE	25,8	31,9	15,9
		MBE	-15,9	-24,1	-6,9

Tablo 4.23.'te aktarılan 18nolu model denemesinde Tablo 20'de yer alan yöntem uygulanmakta ve yapı malzemelerine ait U-değerleri için ölçülen-hesaplanan değer ortalamaları kullanılmaktadır. 17 ve 18 numaralı model sonuçlarının karşılaştırmasında ölçülen-hesaplanan ortalama yöntemi ile elde edilen değerlerin bu etap için kabul değerler olduğunu söylemek mümkündür. Üst bölümde literatür verileri ile desteklenen (Francis vd., 2015; Baker, 2011; Biddulph vd., 2014; Desogus vd., 2011) yöntem gereklilikleri örnek yapı üzerinde denenmiş ve ölçülen-hesaplanan ortalamasına ait kurgunun daha başarılı sonuç verdiği doğrulanmıştır. Kalibrasyon denemelerindeki ilerleme gözle görülür olsa da cami mekanlarında hedeflenen kalibrasyon sınırları hala sağlanamamıştır

(Tablo 4.23.). Bu durumda üst etaplarda tekrarının gerekliliği gözetilen sızdırmazlık değerlerine ait yeni düzenlemeler M5'0 etabı içerisinde tartışılmıştır.

4.4.7. M5'.0 modeli: Bina sızdırmazlık değerlerinde revizyon

M5.0 etabında incelenen bina sızdırmazlık katsayılarına ait hesaplama Tablo 4.17.'de sunulmuş ve incelenen yapı mekanları için en iyi-normal katsayı aralıkları belirlenmiştir. İncelenen binaya ait sızdırmazlık katsayısının kesin olarak bulunması söz konusu olmadığı için farklı katsayıların model üzerindeki denemeleri ve gerçek yapı davranışına en uygun sonuç sağlanan değerlerin kabul alınması gerekmektedir. Süreç içerisinde kalibre model sınırlarının sağlanamaması durumu bina sızdırmazlık katsayılarının kontrol edilmesi ve yeni düzenlemelerin gerekliliğini göstermektedir. M5.0 etabında kabul alınan değerler üzerinden ilerletilecek mevcut etapta 3 deneme uygulanmış, bu denemeler Tablo 4.17'de yer alan en iyi-normal sınır değerleri içerisinde kurgulanmıştır (Tablo 4.24.).

Tablo 4.24. M5'0 etabında uygulanan sızdırmazlık değerleri

Mekan	Sızdırmazlık Katsayısı - En İyi	Sızdırmazlık Katsayısı - Normal	M5.0- Ry	M5'.0- Rx	M5'.0- Ry	M5'.0- Rz
Z01-Kafeterya	0,60	1,40	0,84	1,00	1,40	1,40
Z02-Harim	0,60	1,40	0,84	1,00	1,40	1,40
Z03- Son Cemaat	1,15	2,69	1,60	1,92	1,40	1,92
Z04- Kadınlar Mah.	0,84	1,96	1,18	1,40	1,40	1,96

Tablo 4.24'te sunulmuş olan Rx aşamasında mekanlar özelinde hesaplanan en iyi-normal sızdırmazlık değerlerinin ortalamaları alınmıştır. İncelenen yapının hangi bina sınıfına yakın olduğuna dair veri erişimimizin olmaması, katsayı teşhisinde birden fazla denemeyi ve incelenen değerlerin oluşturdukları sonuçlara göre yorumlamaları olanaklı hale getirmektedir. Ry aşamasında tüm mekanlar için ortak değer kabulüne gidilmiş ve her mekanda aynı sızdırmazlık katsayısı (1,40) denenmiştir. Rz aşamasında ise tüm mekanlarda normal uygulamalar için belirlenmiş katsayılar ele alınmış ve yeni modeller oluşturulmuştur.

Tablo 4.25. *M5'.0 etabında kurgulanan bina sızdırmazlık alternatiflerinin model sonuçları*

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
19	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ +M3'.0-Rq+ M5'.0-Rx	RMSE	25,8	31,9	15,5
		MBE	-16,1	-24,2	-6,9
20	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ +M3'.0-Rq+ M5'.0-Ry	RMSE	25,1	31,5	14,5
		MBE	-14,2	-23,6	-5,1
21	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ +M3'.0-Rq+ M5'.0-Rz	RMSE	22,0	18,6	12,7
		MBE	-12,8	-7,5	2,6

Tablo 4.25., M5'.0 etabında denenen yeni bina sızdırmazlık katsayılarının model sonuçlarını göstermektedir. 3 farklı katsayı kurgusuna ait model sonuçlarına göre kalibre modele en yakın sonuçları M5'.0-Rz modeli (21nolu model) vermektedir. Bu modelde kullanılan sızdırmazlık değerleri, incelenen yapının normal uygulama niteliği taşıdığını göstermekte ve bina sızdırmazlığının güçlü olmadığı yorumunu sağlamaktadır.

Varılan son model sonuçlarına göre harim bölümünde RMSE 22.0% ve MBE -12.8%'dir. Kalibrasyon sınırlarına oldukça yakın olduğu fakat MBE değerlerinin sınır içerisinde yer almadığı görülmektedir. Son sızdırmazlık denemesi ile kadınlar mahfilinde ciddi iyileşme gözlenerek RMSE değeri 18.6%'ya MBE değeri -7.5%'e düşürülmüş ve kalibre model koşullarını sağlamıştır. Kafeteryaya ait mekan için RMSE %12.7 MBE -2.6% değerlerini göstermektedir. Harim mekanı dışındaki tüm zonlar kalibre model koşul sınırları içerisinde. Mevcut etapta harim için kullanılan 1.40'lık sızdırmazlık değerinden daha yüksek bir değer denemesi yapılamamaktadır.

4.4.8. M6.0 modeli: Model veri revizyonu

Mevcut etap, yinelemeli kalibrasyon sürecinin son adımını oluşturmaktadır. Yapı simülasyon modeline ait veriler, ölçülen-varsayılan-hesaplanan metotları kullanılarak model denemelerine dahil edilmiş ve gerçek yapıya en yakın veri sınıflarına erişim hedeflenmiştir. M5'.0 etabı ile ulaşılan son noktada harim dışındaki mekanlar kalibre model koşullarını sağlamıştır. Bu durumda harim mekanı ile ilişkili çevre mekanlar üzerinde inceleme kararı alınmıştır. Harim çevresinde, mekan ile ilişkili kadınlar mahfili ve son cemaat zonları bulunmaktadır. Son cemaat, ısıtılmayan bir mekan olduğu için model kalibrasyon hesaplarına dahil edilmemiş ve veri girişleri titizlikle kontrol

edilmemiştir. Bu durumun yapı içerisindeki diğer cami mekanlarını etkileme şüphesi ile M6.0 etabında son cemaat veri girişleri tamamlanmış, model geometrisi kontrol edilmiştir. Kullanıcı varlığı, davranışı ve aktivite parametreleri son cemaat üzerinde asılı HOB0 UX90-005 kayıt cihazı verilerine göre güncellenmiş, süreç içerisinde tüm mekanlar üzerinde netleştirilen yapı malzemeleri ve belirlenen U değerleri girilmiş, sızdırmazlık katsayıları Tablo 4.25.'de sunulan M5'.0-Rz değerlerine göre güncellenmiştir. Belirtilen düzeltmelerin uygulandığı 22nolu model sonuçları Tablo 4.26.'da sunulmuştur.

Tablo 4.26. M6.0 etabındaki son cemaat mekanına ait güncellemelerin baz model üzerindeki etkileri

No	Modeller		Harim	Kadınlar Mahfili	Kafeterya
1	M0.0-Baz Model	RMSE	31,4	34,8	22,2
		MBE	-24,7	-29,8	-16,1
21	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ +M3'.0-Rq+M5'.0-Rz	RMSE	22,0	18,6	12,7
		MBE	-12,8	-7,5	2,6
22	M1.0-Rz+M2.0 +M4.0+ +M3'.0-Rq+M5'.0-Rz+ M6.0	RMSE	18,5	16,9	12,7
		MBE	-9,7	-5,7	2,6

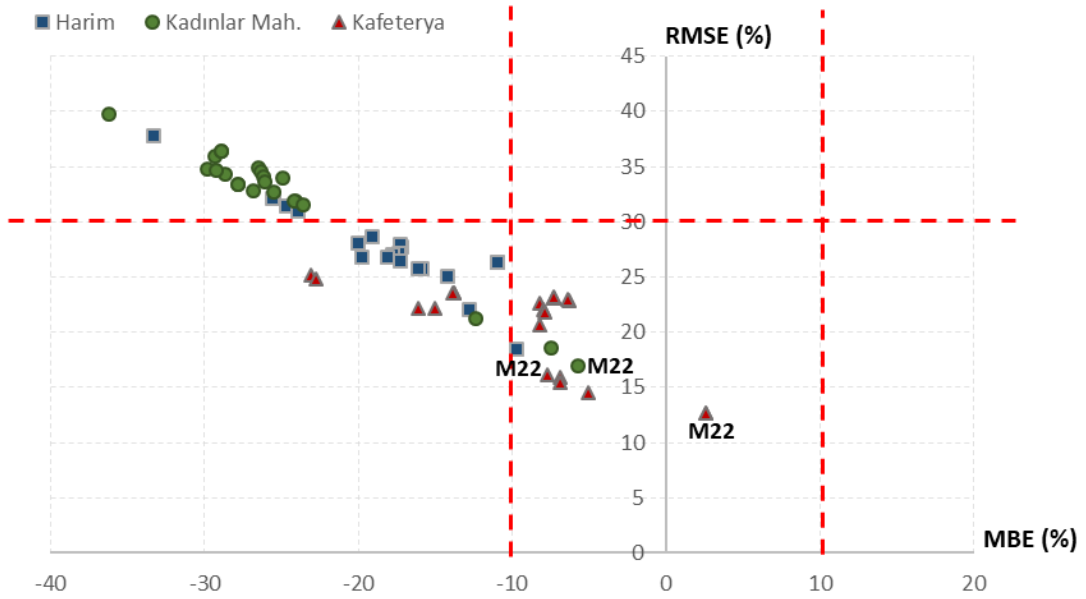
Tablo 4.26.'ya göre model üzerine işlenen son cemaat verilerinin hem harim mekanını hem de kadınlar mahfilini etkilediği açıkça görülmektedir. Ulaşılan simülasyon sonucu, ilişkili mekanlardaki parametre değişkenlerinin ve model kurgularının birbirlerini en düzeyde etkilediğini göstermektedir. Son durumda, 22 model denemesi ile bina kalibrasyonu tüm mekanlar için sağlanmıştır. Son model değerlerine göre, elde edilen simülasyon modelinin harim mekanı için %18.5'lik Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), -9.7% Ortalama Çapraz Hatası (MBE) bulunmaktadır. Hata payları kadınlar mahfili için RMSE için 16.9% ve MBE için -5.7% şeklindedir. Kafeterya için RMSE değeri 12.7% ve MBE değeri 2.6% bulunmuştur. Belirtilen değerler, simülasyondan elde edilecek çıktıların gerçek yapıdan ne kadar oranda farklılaşacağını göstermektedir. İncelenen yapıdaki tüm ısıtılan mekanlar için kalibrasyon 22 adımda sağlanmıştır.

4.4.9. Bölüm sonucu ve kalibrasyon değerlendirme

Enerji ve maliyet kontrollü tasarım araştırmalarında sıklıkla kullanılan simülasyon modellerinin gerçek yapı ile benzeşim ihtiyacında kalibre model erişimi gerekmektedir. Bu gereklilik, oluşturulan simülasyon modeli üzerinde pek çok müdahaleyi içermektedir.

Mevcut çalışmada kültürel miras niteliği taşıyan bir örneklem yapının simülasyon adımları ve kalibrasyon süreci paylaşılmıştır. Model üzerine kurgulanan her bir parametre baz model üzerine tekil ve birden çok parametre ile birleşik formatlarda kurgulanmış, uygulama sonuçları ve modele etkileri tartışılmıştır.

Kalibre modele ulaşımın ne kadar sürede ve kaç adımda gerçekleştirileceğine, hangi parametrelerin daha etkin sonuçlar vereceğine dair öngörüler çalışma başında kısıtlı olmakta bu nedenle deneme yöntemi ile etaplar şeklinde ilerlemeyi gerektirmektedir. Mevcut çalışmadaki kalibrasyon süreci 22 etapta tamamlanmış ve kalibre model değerleri yapı içi tüm mekanlarda sağlanmıştır (Şekil 4.48.). ASHRAE kılavuzunda sunulan 30%'luk RMSE sınırı ve $\pm$ %10 MBE sınır değerleri içerisinde tüm mekanların olduğu tek uygulama Şekil 4.48.'de aktarılan grafikte görüldüğü gibi M22 ile sağlanmıştır. Süreç içerisinde kalibrasyon gerekliliklerinin en sık kafeterya mekanında sağlandığı, cami mekanlarının gerçek yapıya benzeşiminde daha fazla zorlanıldığı görülmektedir.



Şekil 4.48. Çalışma içerisindeki model sonuçlarının kalibre model sınırları içerisindeki yeri

Süreç içerisinde, kullanıcı varlık-yoklukları, kullanıcı davranış ve aktiviteleri, pencere açma-kapama durumları, yapı malzemeleri ısıl geçirgenlik katsayıları, bina sızdırmazlık değerleri parametre olarak ele alınmış, model içerisinde ve yapı içi mekan kurgularında gerekli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Etaplar içerisinde parametrelerin tekil ve birleşik kurgularının baz model üzerine etkileri hem parametre özelinde hem de

birleşik parametre davranışları üzerine çıkarımlar sağlamıştır. Mevcut simülasyon modeli üzerinde yapı malzemelerine ait ısı geçirgenlik katsayıları ve bina sızdırmazlık değerleri etkin parametreler olarak bulunmuş ve etaplar içerisinde tekrarlı müdahaleler ile optimuma erişim sağlanmıştır. İncelenen yapının tarihi yapı niteliği, gerekli parametre ölçümlerinin yapı üzerinden sağlanmasında kısıtlar oluşturmuş bu nedenle parametre denemelerinde ölçülen-hesaplanan-varsayılan yöntemleri ile aynı parametrenin birden fazla denemesini ihtiyaç kılmıştır. Çalışma içerisindeki tekrarlı denemeler ve sağladıkları farklı sonuçlar, kalibrasyon sürecinin kendini tekrar edebileceğini ve aynı parametre üzerinden de ilerletilecek tekrarların farklı sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir.

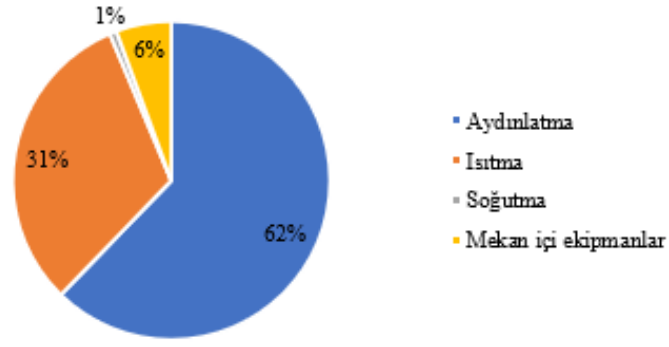
Mevcut çalışma, içerisinde incelenen ve uygulamalı paylaşılan kalibrasyon sürecinin açık aktarımı ve her etabın modele etkisinin paylaşımı ile literatürde kısıtlı alana sahip model kalibrasyon süreci için güçlü kaynak niteliği taşımaktadır. İleride yapılacak simülasyon çalışmalarında ve kalibre model erişimlerinde örnek uygulama altlığı sunacağı öngörülmektedir.

4.5. Senaryo Bulguları

Uygulanacak iyileştirme senaryolarının oluşturacağı enerji performans analizinde ilk adım, herhangi bir iyileştirme müdahalesi uygulanmadan, yapının mevcut durumunu temsil eden, kalibre edilmiş model üzerinden enerji tüketimini araştırmaktır. Bu nedenle iyileştirme senaryolarının bulguları paylaşılmadan önce bu bölümde örneklem yapı mevcut durumunun toplam enerji miktarı ve enerji tüketim payları aktarılmaktadır.

4.5.1. Baz model senaryoları

Tez çalışması içerisinde incelemeye alınan örneklem yapının 2023 yılı kalibre baz model paydalanmış tüketim dağılımları Şekil 4.49'da sunulmaktadır. Mevcut tez içerisinde, bugün uygulanacak müdahale paketlerinin farklı yıllardaki sürdürülebilir etki değerlendirmesi araştırılmaktadır. Sorgulanan etkinin araştırılabilmesi için baz modelin belirtilen yıllardaki davranışlarının da modellenmesi, uygulanan müdahalenin o yıla ait yapı üzerindeki etkisinin gözlenmesi için gereklidir. İncelenen örneklem yapıya ait kalibrasyonu sağlanmış baz modelin 2023-2050-2080 yıllarındaki tüketim değerleri ve toplam tüketimdeki tekil tüketim dağılımları Tablo 4.27'de aktarılmaktadır.



Şekil 4.49. Baz model 2023 tüketim dağılımları

Tablo 4.27. Farklı yıllardaki baz model tüketim değerleri

	Baz Model	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Mekan içi ekipmanlar	Toplam
2023	Tüketim verileri (kWs)	43.595,1	981,12	86.469,3	7.826,3	138.871,9
	kWh/m ²	61,70	1,40	122,30	11,10	196,40
	Dağılım (%)	31%	1%	62%	6%	100%
2050	Tüketim verileri (kWh)	32.970,0	3.471,9	86.814,9	7.826,3	131.083,1
	kWh/m ²	46,60	4,90	122,60	11,10	185,10
	Dağılım (%)	25%	3%	66%	6%	100%
2080	Tüketim verileri (kWh)	25.610,6	6.400,2	87.000,0	7.826,3	126.837,1
	kWh/m ²	36,20	9,10	122,90	11,10	179,15
	Dağılım (%)	20%	5%	69%	6%	100%

Tablo 4.27.'ye ait genel değerlendirmede, kalibrasyonu sağlanmış baz model simülasyon çıktılarına göre tüm yıllar için yapı içi en düşük enerji yükü soğutma sistemine ait iken en yüksek enerji tüketimi aydınlatma yükü kaynaklı bulunmuştur. Farklı yıllardaki tekil yük değerlendirmesinde, ilerleyen yıllarda yapı içi ısıtma yükünde (kWh) düşüş soğutma ve aydınlatma yükünde (kWh) artış gözlenmektedir. Bu durum, gelecek yıl tahminlerindeki dış ortam sıcaklıklarının artacağı verisi üzerinden yorumlanabilmektedir. Dış ortamdaki artan sıcaklık ile yapı iç mekanında oluşacak ısınma dolayısıyla ısıtma yükünde ihtiyacın azalmasına, sıcaklık yükselmesine bağlı soğutma yükünün artmasına sebep olmaktadır. Aydınlatma yükündeki artış rakamsal olarak ısıtma ve soğutma yük farklarına göre daha az olsa da mevcut artış, gelecek

yıllardaki gün ışığı süresindeki değişim kaynaklı yorumlanmaktadır. Toplam tüketime bağlı dağılımda aydınlatma yüküne ait baskınlık, cami içerisinde kullanılan ekipman kaynaklı bulunmakta ve bu dikkat çeken baskınlık için müdahale senaryolarına iyileştirme maddeleri eklenmektedir.

4.5.2. Paket-1 senaryoları

Güncel literatürde kullanım yaygınlığı tespit edilen müdahalelerin test edildiği Paket 1'in farklı yıl iklim şartlarındaki tüketim analizleri bu bölümde paylaşılmaktadır. 2023-2050-2080 yıl iklimlerindeki bina enerji tüketiminde iyileşme çıktıları her bir müdahale özelinde ve toplu müdahale etki değerinde incelenmektedir. Tablo içerisinde kalibre modele ait tüketim verileri ve metrekare başına enerji tüketim değerleri sunulmakta, uygulanan paket ve paket içerisindeki müdahalelerin kalibre model tüketimine etkileri, müdahale sonrası yeni tüketim değeri ve kalibre model tüketimindeki enerji kazancı cinsinden paylaşılmaktadır. Paket sonucu bölümünde ise paket içerisindeki tüm müdahalelerin kalibre model üzerindeki toplam enerji tüketimindeki azalma değeri "tüketim farkı" satırı ile aktarılmakta ve kazanç değerleri yüzdelik bandında da sunulmaktadır (Tablo 4.28).

Tablo 4.28. Paket 1 senaryo bulguları

		Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Mekan içi ekipmanlar	Toplam	
2023 Kalibre Model	kWs/m ²	61,70	1,40	12,,30	11,10	196,15	
	Tüketim (kWs)	43.595,1	981,2	86.469,3	7.826,3	138.871,9	
2050 Kalibre Model	kWs/m ²	46,60	4,90	122,,60	11,10	185,10	
	Tüketim (kWs)	32.970,0	3.471,9	86.814,9	7.826,3	131.083,1	
2080 Kalibre Model	kWs/m ²	36,20	9,10	122,90	11,10	179,15	
	Tüketim (kWs)	25.610,6	6.400,2	87.000,0	7.826,3	126.837,1	
Model- P1.23	Müdahaleler	M1	28.656,8	801,8	74.328,9	6.120,7	109.908,2
		Kazanç (%)	34%	18%	14%	22%	21%
		M1+M2	11.840,3	883,1	74.328,9	6.120,7	93.173,0
		Kazanç (%)	73%	10%	14%	22%	33%
		M1+M2+M3	40.408,9	751,2	15.337,8	6.120,7	62.618,6
		Kazanç (%)	7%	23%	82%	22%	55%
		M1+M2+M3+M4	37.742,4	748,5	15.337,8	6.120,7	59.949,4
		Kazanç (%)	13%	24%	82%	22%	57%
		M1+M2+M3+M4+M5	37.742,4	748,5	15.337,8	6.120,7	59.949,4
		Kazanç (%)	13%	24%	82%	22%	57%

Tablo 4.28.(Devam) Paket 1 senaryo bulguları

Model-P1.50	Müdahaleler	M1	19.247,8	2.510,5	74.707,7	6.120,7	102.586,7
		Kazanç (%)	42%	28%	14%	22%	22%
		M1+M2	8.783,6	2.436,8	74.707,7	6.120,7	92.048,8
		Kazanç (%)	73%	30%	14%	22%	30%
		M1+M2+M3	32.033,6	2.189,1	12.193,9	6.120,7	52.537,3
		Kazanç (%)	3%	37%	86%	22%	60%
		M1+M2+M3+M4	29.740,7	2.203,2	12.193,9	6.120,7	50.258,5
		Kazanç (%)	10%	37%	86%	22%	62%
		M1+M2+M3+M4+M5	29.740,6	2.203,2	12.193,9	6.120,7	50.258,4
		Kazanç (%)	10%	37%	86%	22%	62%
Model-P1.80	Müdahaleler	M1	2.345,6	4.451,2	122.848,9	6.120,7	135.766,4
		Kazanç (%)	91%	30%	-42%	22%	-7%
		M1+M2	1.442,3	4.286,7	122.848,9	6.120,7	134.698,6
		Kazanç (%)	94%	33%	-42%	22%	-6%
		M1+M2+M3	24.957,3	3.789,2	12.246,3	6.120,7	47.113,5
		Kazanç (%)	3%	41%	86%	22%	66%
		M1+M2+M3+M4	23.087,8	3.783,6	12.246,3	6.120,7	45.238,4
		Kazanç (%)	10%	41%	86%	22%	64%
		M1+M2+M3+M4+M5	23.087,8	3.783,6	12.246,3	6.120,7	45.238,4
		Kazanç (%)	10%	41%	86%	22%	64%
Paket Sonucu	2023	kWs/m ²	53,40	1,05	21,70	8,70	84,80
		Tüketim Fark (kWs)	5.852,7	232,7	71.131,5	1.705,6	78.922,5
		Kazanç (%)	13%	24%	82%	22%	57%
	2050	kWs/m ²	42,0	3,1	17,2	8,7	71,0
		Tüketim Fark (kWs)	3.229,4	1.268,7	12.539,5	1705,6	80.824,7
		Kazanç (%)	10%	37%	86%	22%	62%
	2080	kWs/m ²	32,6	5,3	17,3	8,7	64
		Tüketim Fark (kWs)	2.522,8	2.616,6	74.753,7	1705,6	81.598,7
		Kazanç (%)	10%	41%	86%	22%	64%

İlk müdahale olan M1'e karşılık gelen iyileştirme, yapı üzerinde bulunan pencerelerdeki camın malzemesinde güncellemeyi içermektedir. Mevcut yapıda hava dolgulu çift cam uygulaması Paket 1'de dolgu malzemesi olarak argon gazı kullanımını denemektedir. 6 mm'lik iki düz cam arasında 13 mm argon gaz dolgusunun uygulandığı modelde malzeme U değeri 2.665 W/m²K'den 2.511 W/m²K'e güncellenmiş ve

malzeme ısı iletim değeri yükseltilmiştir. Mevcut uygulama sonucunda kalibre model ısıtma yükünde bugünü simgeleyen 2023 yılında 34%, soğutma yükünde 18%, aydınlatma yükünde 14% oranında azalma sağlanmıştır. Aynı müdahalenin enerji tüketimine etkisi 2050 yılında ısıtma yükü için 42%, soğutma yükü için 28%, aydınlatma yükü için 14% iyileşme sağlamaktadır. 2080 yılı yıllık enerji tüketimindeki değişim ise M1 müdahalesi sonrası ısıtma yükünde 91%, soğutma yükünde 30% azalma kaynaklı iyileşme sağlanırken aydınlatma yükünde 42% oranında artış gözlenmiştir. M1 müdahalesinin yıllık toplam enerji tüketimindeki iyileştirme etkisi ise 2023 yılında 21%, 2050 yılında 22%'dir. 2080 yılında M1 müdahalesi sonrası yıllık toplam enerji tüketiminde 7%'lik artış gözlenmiştir (Tablo 4.28.).

İkinci müdahale adımı bina sızdırmazlık iyileştirmesi (ac/h) ele alınmaktadır. Cepheye yer alan pencere ve kapı gibi açıklıklar etrafına kauçuk bant uygulaması ile mekan sızdırmazlıklarında iyileştirme hedeflenmekte ve simülasyon üzerinde denenmektedir. Mevcut durumda yapı açıklıkları etrafında müdahale bulunmamaktadır. Pencere açıklıkları etrafında gerçekleştirilen kauçuk bant uygulamasının iyileştirme paketine dahil olması ile 2023 yılı baz modeli ısıtma yükünde 73%, soğutma yükünde 10%, aydınlatma yükünde 14% iyileşme gözlenmektedir. M2 müdahalesi sonrası 2050 yılında ısıtma yükünde 73%, soğutma yükünde 30%, aydınlatma yükünde 14% iyileşme söz konusudur. Aynı müdahale ile 2080 yılındaki bina ısıtma yükünde 94%, soğutma yükünde 33% iyileşme sağlanırken aydınlatma yükünde 42% oranında artış mevcuttur. M1 ve M2 müdahalelerinin birlikte uygulanması ile yıllık toplam enerji tüketiminde 2023 yılı için 33%, 2050 yılı için 30% oranında iyileşme sağlanırken 2080 yılı toplam enerji tüketiminde iyileşme sağlanamamış 6% oranında tüketim artışı gözlenmiştir (Tablo 4.28.).

M3 kodu ile sunulan müdahale içeriği, aydınlatma ekipmanlarında revizyonu içermektedir. Mevcut yapıda kullanılan akkor telli ampuller, paket 1 içeriğinin sunulduğu bölümde aktarıldığı gibi kompakt floresan aydınlatma ile revize edilmektedir. Simülasyon modeli üzerinde gerçekleştirilen revizyon denemesi sonucu aydınlatma yükündeki düşüş ile birlikte ısıtma yükünde ciddi artış gözlenmektedir. Aydınlatma elemanında gerçekleştirilen revizyonun ısıtma yüküne etkisi, paket 1 içeriğinde aktarıldığı ve referanslar ile de desteklendiği gibi akkor telli ampullerin aydınlatmadan çok yaydığı ısı fazlalığının yapı içi ısıtmada etkinliği ile gözlenmektedir. Aydınlatma elemanı kaynaklı ısı yayılımı, yapı içi ısıtmada aktif rol almakta ve yapının ısıtma yükünü

düşük tutmaktadır. Bu bulgu, aydınlatma elemanın değişmesi ile ortaya çıkan aydınlatma yükündeki düşüş ile beraberinde artan ısıtma yükü bulgusuyla desteklemektedir. Floresan aydınlatmanın paket 1 müdahalesine dahiliyeti, yapı içi soğutma yükünde düşüşe sebep olmakta ve baz modelde tespit edilen soğutma için tüketilen enerjide 2023 yılı için 23%, 2050 yılı için 37%, 2080 yılı için 41% iyileşme sağlanmaktadır. Aynı müdahale tüm yıllarda ısıtma yükünde artışa sebep olmaktadır. Aydınlatma yükünde sağlanan azalma ise 2023 yılında 82%, 2050 yılında 86%, 2080 yılında 86% oranlarında bulunmuştur.

Müdahale içeriklerine dördüncü ve beşinci müdahale maddeleri, malzeme revizyonu ve yalıtım eklentisini içermektedir. M4 içeriğinde, yapı döşemelerindeki ahşapta onarım ve yeni ahşap malzeme revizyonu ile birlikte döşeme kurgusuna yalıtım malzeme dahiliyeti söz konusudur. Aynı şekilde M5 müdahalesi, çatı kurgusunda hasarlı malzemelerde revizyon ile birlikte ısı ve su yalıtımı içermektedir. Isı yalıtımı malzemesi olarak taş yünü kullanılmakta, simülasyonda döşeme ve çatı kurgusuna dahil edilmektedir. Belirtilen revizyon ve yalıtım uygulaması sonrası iç döşemeye ait U-değeri 1.075 W/m²K'den 0.582 W/m²K'e revize olurken, çatı kurgusuna ait U-değeri 1.010 W/m²K'den 0.627 W/m²K olarak güncellenmiştir. Döşeme malzemesinde gerçekleşen ısı iletim katsayısı iyileştirmeleri sonucu (M4) dört müdahalenin baz model üzerindeki etkisi, 2023 yılı ısıtma yükü için 13%, soğutma yükü için ise 24% oranında iyileşmeye karşılık gelmektedir. Aynı müdahalenin 2050 yılı enerji tüketim etkisi ısıtma yükünde 10%, soğutma yükünde 37% oranındadır. 2080 yılı için bu değerler ısıtma yükünde 1%, soğutma yükünde 41% oranında iyileşme çıktısı sunmaktadır. 5. Müdahale adımıyla birlikte tüm paketin toplam enerji tüketimine etkisi 2023 yılı için 57%'lik bir iyileşme oranındayken, 2050 yılı için bu oran 62%, 2080 yılı için 64% şeklindedir. Paket 1 ile incelenen tüm yıllarda 50% üzerinde iyileşme gözlenmektedir (Tablo 4.28.).

4.5.3. Paket-2 senaryoları

Yapıların verimli enerji kullanımında yenilenebilir kaynaklar, son 20-30 yılda kullanım çerçevesi gelişen, alan yazınında araştırma sıklığı artan bir kapsama sahiptir. Literatür bölümünde, yapılardaki kullanım çeşitliliği sunulmakta ve incelenen çalışmalar içerisindeki kullanılan yenilenebilir kaynak sıklıkları oransal formatta paylaşılmaktadır. Mevcut pakette, yapı üzerinde uygulanan müdahaleler için yenilenebilir kaynak kullanımı test edilmektedir. Test edilen müdahalelerin farklı yıllardaki yapı enerji tüketimlerine

etkisi sunulmaktadır. Yenilenebilir kaynakların yer aldığı müdahale paketinin (P2) 2023, 2050 ve 2080 yılı iklimindeki enerji tüketim karşılıkları ve paket içerisinde ele alınan her müdahalenin yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisi Tablo 4.29. ile aktarılmaktadır. İncelenen örneklem yapı, ayrık nizam oturuma sahip bir ibadet mekanıdır. Yapının ayrık nizam oturuma sahip olması, çevre yapıların kat yükseklikleri ve örneklem binaya mesafesi gözetilerek mevcut paket içerisinde yenilenebilir kaynak olarak güneş enerjisi kullanımı uygun bulunmuştur. Senaryo paketine ait ilk müdahale (M1) olan pencere camlarının değişiminde şeffaf güneş paneli kullanılmaktadır. Şeffaf güneş panelleri, komşu yapı mesafesi ve çevre elemanların oluşturacağı gölge faktörleri gözetilerek yapının doğu ve batı cephelerinde yer alan pencereler için panel kullanımı uygun bulunmakta ve her pencereye 1.200-600-7mm boyutlarında 2'şer panel yerleştirilmektedir. Batı ve doğu cephelerindeki tüm pencerelere yerleştirilen paneller ile toplamda 16 şeffaf güneş paneli kullanılmaktadır. Mevcut bölüm dizininde kullanılan panellerin kendi enerji üretimleri aktarılmadan önce malzeme özelliğine bağlı yapı tüketim değerlerindeki değişimler sırasıyla aktarılmaktadır.

Birinci müdahale uygulaması ile örneklem yapının mevcut ısıtma yükünde 76% oranında tasarruf sağlanmaktadır. Soğutma yükünde 26%, aydınlatma tekil yükünde 42% artış gözlenmektedir. Aktarılan tekil yük etkileri, çift cam kurgusuna dahil olan paneli ışık geçirgenliği ile bağlantılı bulunmaktadır. 80% (Solar Window) ışık geçirimine sahip şeffaf panel ile kontrollü ışık alımı sağlanmakta ve buna bağlı güneş kaynaklı fazla ısınma ve fazla ısınmaya bağlı fazla soğutma ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Yapı içerisine güneş ışığına gelen filtreleme ile aydınlatma ihtiyacı artmaktadır. Bu durumda aydınlatma yükünün artması ile aydınlatma elemanından mekana salınan ısı ısıtma yükündeki düşüşe destek sunmaktadır. M1 müdahalesinde pencere camlarına eklenen şeffaf güneş panelleri ile 2023 yılı için 1.921,5 kWh elektrik yükü karşılanmaktadır. Bu durumda M1 müdahalesinin yapı toplam yüküne etkisi, yenilenebilir kaynak yükü ile birlikte 2023 yılı için 0.1% olarak hesaplanmakta ve baz modelin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi yok denecek kadar az bulunmaktadır. M1 müdahalesi sonrası 2050 yılı baz modelinin soğutma ve aydınlatma yükündeki artış dolayısıyla yıllık toplam enerji tüketiminde 5% tüketim artışı gözlenmektedir. Yapı pencerelerinde şeffaf güneş paneli kullanımının 2080 yılı etkisi de yine aynı şekilde soğutma ve aydınlatma tekil enerji yüklerinde artışa yol açmakta ve yıllık toplam enerji tüketiminde 9% yükselme gözlenmektedir.

Paket 1 içerisinde, yapı açıklıkları etrafına uygulanan kauçuk bant müdahalesi paket 2 kapsamında korunmakta ve M1-M2 ortak müdahale etkisi 2023 yılı için ısıtma yükünde 90% oranında iyileşme sağlanırken soğutma ve aydınlatma tekil yüklerinde artış devam etmektedir. Aynı tutum 2050 ve 2080 yıllarında da gözlenmektedir.

Tablo 4.29. Paket 2 senaryo bulguları

		Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Mekan içi ekipmanlar	Y.E. ile Karşılanan	Toplam
2023 Kalibre Model	kWs/m ²	61,70	1,40	12,,30	11,10	-	196,15
	Tüketim (kWs)	43.595,1	981,2	86.469,3	7.826,3	-	138.871,9
2050 Kalibre Model	kWs/m ²	46,60	4,90	122,,60	11,10	-	185,10
	Tüketim (kWs)	32.970,0	3.471,9	86.814,9	7.826,3	-	131.083,1
2080 Kalibre Model	kWs/m ²	36,20	9,10	122,90	11,10	-	179,15
	Tüketim (kWs)	25.610,6	6.400,2	87.000,0	7.826,3	-	126.837,1
Model- P2.23	M1	10.523,7	1.236,5	122.848,9	6.120,7	1.921,5	138.807,6
	Kazanç (%)	76%	-26%	-42%	22%		0,1%
	M1+M2	4.465,4	1.336,8	122.848,3	6.120,7	1.921,5	132.849,7
	Kazanç (%)	90%	-36%	-42%	22%		4%
	M1+M2+M3	49.239,0	1.015,8	10.968,6	1.062,7	1.921,5	60.364,6
	Kazanç (%)	-13%	-3%	87%	22%		57%
	M1+M2+M3+M4	47.180,1	920,5	10.968,6	1.062,7	1.921,5	58.210,4
	Kazanç (%)	-8%	6%	87%	22%		58%
	M1+M2+M3+M4+M5	47.180,1	920,5	10.968,6	1.062,7	12.455,6	47.676,3
	Kazanç (%)	-8%	6%	87%	22%		66%
Model-P2.50	M1	6.163,0	3.796,5	122.848,9	6.120,7	1.558,3	137.370,8
	Kazanç (%)	81%	-9%	-42%	22%		-5%
	M1+M2	3.153,9	3.709,8	122.848,9	6.120,7	1.558,3	134.275,0
	Kazanç (%)	90%	-7%	-42%	22%		-2%
	M1+M2+M3	37.546,8	3.167,1	10.968,7	6.120,7	1.558,3	56.245,0
	Kazanç (%)	-14%	9%	87%	22%		57%
	M1+M2+M3+M4	35.641,5	3.119,3	10.968,7	6.120,7	1.558,3	54.291,9
	Kazanç (%)	-8%	10%	87%	22%		59%
	M1+M2+M3+M4+M5	35.654,4	3.118,7	10.968,7	6.120,7	12.342,7	43.519,8
	Kazanç (%)	-8%	10%	87%	22%		67%

Tablo 4.29. (Devam) Paket 2 senaryo bulguları

Model-P2.80	Müdahaleler	M1	3.896,6	6.676,4	122.848,9	6.120,7	1.616,6	137.926,0
		Kazanç (%)	85%	-4%	-42%	22%		-9%
		M1+M2	2.330,5	6.415,1	122.848,9	6.120,7	1.616,6	136.098,6
		Kazanç (%)	91%	-1%	-42%	22%		-7%
		M1+M2+M3	29.375,8	5.659,9	10.968,6	6.120,7	1.616,6	50.508,4
		Kazanç (%)	-15%	12%	87%	22%		60%
		M1+M2+M3+M4	27.881,0	5.584,7	10.968,6	6.120,7	1.616,6	48.938,4
		Kazanç (%)	-9%	13%	87%	22%		62%
		M1+M2+M3+M4+M5	27.891,7	5.584,0	10.968,6	6.120,7	12.628,1	37.936,9
		Kazanç (%)	-9%	13%	87%	22%		70%
Paket Sonucu	2023	kWs/m ²	66,6	1,3	15,5	8,7		67,3
		Tüketim Fark (kWs)	-3585	60,7	75500,7	6763,6		91.195,6
		Kazanç (%)	-8%	6%	87%	22%		66%
	2050	kWs/m ²	50,4	4,40	15,5	8,6		61,5
		Tüketim Fark (kWs)	-2.684,4	677,8	11.880,2	1.705,6		87.563,3
		Kazanç (%)	-8%	10%	87%	22%		67%
	2080	kWs/m ²	39,4	7,90	15,50	8,70		53,60
		Tüketim Fark (kWs)	-2.209,1	816,2	76.031,4	1.705,6		88.900,2
		Kazanç (%)	-9%	13%	87%	22%		70%

M3 müdahalesi ile LED aydınlatma revizyonu, akkor ampullerden sağlanan ısıtmayı ortadan kaldırmakta ve bu durum yapı içi ısıtma yükünü olumsuz etkilemektedir. Geçtiğimiz müdahale adımındaki 90%'lık enerji tüketiminde sağlanan iyileşmenin kaybı ile birlikte 2023 yılı baz model ısıtma enerji tüketiminde 13% artış gözlenmektedir. M3 müdahalesi sonrası 2050 yılı çıktılarında ısıtma yükünde 14%, 2080 yılı ısıtma yükünde 15% artış mevcuttur. Tüm yıl modellerinde soğutma yükünde düşüş gözlenmekte ve aynı şekilde aydınlatma yükünde sağlanan yüksek oranlardaki iyileşme ile 2023 ve 2050 yılı yıllık toplam enerji tüketiminde 57%, 2080 yılı toplam enerji tüketiminde ise 60% iyileşme sağlanmaktadır.

M4 müdahalesi, birinci paketteki içeriği korumakta ve yapı iç döşemelerinde malzeme revizyonu ile birlikte taş yünü yalıtım eklentisi içermektedir. Bu müdahalenin eklenmesi ile tüm yıllardaki ısıtma ve soğutma yüklerinde iyileşme gözlenmektedir. Son

müdahale adımı olan çatı malzemelerindeki revizyon sonrası panel yerleşimi önerilmektedir. 80 adet polikristal güneş paneli yer alan çatı tasarımı sonrası 2023 yılı toplam elektrik yükü kazancı 12.445,6 kWh'e yükselmektedir. PV panellerden sağlanan elektrik yük kazancı 2050 yılında 12.342,7 kWh iken 2080 yılı yük kazancı 12.628,1 kWh değerine yükselmiştir. M4 müdahalesi sonrası M5 müdahalesi eklentisinin yapı içi tekil yüklerinde etkisi gözlenmemektedir. Güneş panellerinden sağlanan elektrik yükü ile birlikte 2023 yılı baz model toplam enerji tüketiminde 66% iken, 2050 yılında 67%, 2080 yılında 70% iyileşme sağlanmaktadır (Tablo 4.29.).

4.5.4. Paket -3 Senaryoları

Enerji verimliliğine yönelik bina sektöründe geliştirilen ve kullanım örnekleri yaygınlaşan inovatif-yenilikçi malzeme kullanımı mevcut paket üzerinde değerlendirilmekte, inovatif malzeme kullanımının 2023-2050-2080 yıl iklimlerindeki etkileri bu bölümde analiz edilmektedir. İnovatif müdahale içeriklerine sahip paket 3 içeriğinin her müdahale etkisine dair sayısal veriler ve veri yorumlamaları Tablo 4.30.'da sunulmaktadır. Önceki iki pakette yer alan müdahale içerikleri, mevcut pakette yapı teknolojisinde kullanılan yenilikçi malzeme kullanımları ile kurgulanmaktadır. M1 müdahalesi içerisinde pencerelerdeki cam malzeme revizyonunda faz değiştiren malzemelerden termokromik malzeme kullanılmaktadır. Çift cam kurgusu içerisinde kullanılan termokromik malzeme ile mevcut yapıdaki 2.665 W/m²K U-değeri 2.130 W/m²K'e dönüşmekte, malzemenin ısıl iletkenliğinde iyileştirme sağlanmaktadır. Bu müdahale ile birlikte 2023 yıl ikliminde yer alan baz modelin ısıtma yükünde 45%, soğutma yükünde 6%, aydınlatma yükünde 3% azalma gözlenmektedir. M1 müdahalesinin 2050 yılı baz modeline etkisi ise ısıtma yükünde 87%, soğutma yükünde 3% azalma sağlarken aydınlatma yükünde 42% oranında artışa sebep olmaktadır. Bu müdahalenin 2080 yıl çıktısı ise ısıtma yükünde 91%, soğutma yükünde 4% iyileşme ile birlikte aydınlatma yükünde 2050 yılı ile aynı olarak 42% oranında enerji tüketim artışı gözlenmektedir.

Termokromik cam uygulaması sonrası ısıtma yükünde gözlenen azalma, pencere camlarında kullanılan yeni malzeme ile sağlanan yapı içi ısıl dengedeki iyileşme kaynaklıdır. Bu durum soğutma yükünde de paralel olarak enerji tüketiminde azalmayı sağlamaktadır. Aydınlatmada gerçekleşen yük artışı ise cam tipinin güneşe duyarlı tavrı kaynaklıdır. Termokromik camlar, ısıya duyarlı renk değiştirerek, güneş ışınımının

fazlalığında cam yüzey koyulaşmaktadır. Bu ısıya duyarlı davranış biçimi, yapı içerisindeki güneş ışığı kaynaklı fazla ısınmayı önlerken soğutma yükünü düşürmekte bununla birlikte iç mekana gün ışığı geçişini kısıtlamakta ve dolayısıyla yapay aydınlatma ihtiyacını artırmaktadır (Carmody vd., 2004).

M2 müdahalesi ile birlikte sızdırmazlık iyileştirmesinde pencere ve kapı çevrelerinde 50 mm poliüretan köpük kullanılmaktadır. Bu uygulamanın eklenmesi ile 2023 yılına ait kalibre modelin ısıtma yükünde 76%, soğutma yükünde 6%, aydınlatma yükünde 3% mekan içi ekipmanlara ait enerji tüketiminde 22%'lik iyileşme gözlenmektedir. 2050 yılına ait veriler ise ısıtma yükünde 94%, soğutma yükünde 6% oranında enerji tüketiminde azalma mevcuttur. Bu müdahale uygulamasının M1 sonrası aydınlatma yükünde gerçekleşen yük artışına etkisi gözlenmemiştir. 2080 yılına ait baz modelin ısıtma ve soğutma yüklerine M1 ve M2 müdahalelerinin ortak etkisi iyileştirme sağlarken aydınlatma yükünde 42%lik oranda yük artışı mevcuttur.

Tablo 4.30. Paket 3 senaryo bulguları

		Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Mekan içi ekipmanlar	Toplam
2023 Kalibre Model	kWs/m ²	61,70	1,40	12,,30	11,10	196,15
	Tüketim (kWs)	43.595,1	981,2	86.469,3	7.826,3	138.871,9
2050 Kalibre Model	kWs/m ²	46,60	4,90	122,,60	11,10	185,10
	Tüketim (kWs)	32.970,0	3.471,9	86.814,9	7.826,3	131.083,1
2080 Kalibre Model	kWs/m ²	36,20	9,10	122,90	11,10	179,15
	Tüketim (kWs)	25.610,6	6.400,2	87.000,0	7.826,3	126.837,1
Model- P3.23	M1	24.156,58	928,34	84.085,15	6.120,65	115.290,8
	Kazanç (%)	45%	6%	3%	22%	17%
	M1+M2	10.365,35	982,76	84.183,69	6.120,65	101.652,45
	Kazanç (%)	76%	6%	3%	22%	27%
	M1+M2+M3	45.750,17	750,23	8.491,43	6.120,65	61.112,48
	Kazanç (%)	-5%	24%	90%	22%	56%
	M1+M2+M3+M4	41.500,04	681,64	8.491,47	6.120,65	56.793,8
	Kazanç (%)	5%	31%	90%	22%	59%
	M1+M2+M3+M4 +M5	41.500,04	681,64	8.491,47	6.120,65	56.793,8
	Kazanç (%)	5%	31%	90%	22%	59%
Model-P3.50	M1	4.153,71	3.384,37	122.848,86	6.120,65	136.507,6
	Kazanç (%)	87%	3%	-42%	22%	-4%
	M1+M2	1.925,54	3.269,91	122.848,86	6.120,65	134.164,96
	Kazanç (%)	94%	6%	-42%	22%	-2%

Tablo 4.30. (Devam) Paket 3 senaryo bulguları

Model-P3.50	Müdahaleler	M1+M2+M3		34.864,46	2.751,93	8.558,18	6.120,65	52.812,74
		Kazanç (%)		-6%	21%	90%	22%	60%
		M1+M2+M3+M4		31.122,91	2.721,15	8.559,97	6.120,65	48.524,68
		Kazanç (%)		6%	22%	90%	22%	63%
		M1+M2+M3+M4 +M5		31.122,91	2.721,15	8.559,97	6.120,65	48.524,68
		Kazanç (%)		6%	22%	90%	22%	63%
Model-P3.80	Müdahaleler	M1		2.382,3	6.127,3	122.848,86	6.120,7	137.479,2
		Kazanç (%)		91%	4%	-42%	22%	-8%
		M1+M2		1.453,5	5.832,7	122.84,86	6.120,7	136.255,8
		Kazanç (%)		94%	9%	-42%	22%	-7%
		M1+M2+M3		27.324,3	5.098,0	8.657,5	6.120,7	47.200,5
		Kazanç (%)		-7%	20%	90%	22%	63%
		M1+M2+M3+M4		24.314,4	4.985,7	8.658,5	6.120,7	44.079,3
		Kazanç (%)		5%	22%	90%	22%	65%
		M1+M2+M3+M4 +M5		24.314,4	4.985,7	8.658,5	6.120,7	44.079,3
		Kazanç (%)		5%	22%	90%	22%	65%
Paket Sonucu	2023	kWs/m ²		58.7	1.00	12.00	8.7	80.3
		Tüketim (kWs)	Fark	2.095,06	299,56	77.977,8	1.705,65	82.078,1
		Kazanç (%)		5%	31%	90%	22%	59%
	2050	kWs/m ²		44,0	3,85	12,2	8,7	68,6
		Tüketim (kWs)	Fark	1.847,10	750,75	78.254,93	1.705,65	82.558,42
		Kazanç (%)		6%	22%	90%	22%	63%
	2080	kWs/m ²		34.4	7.1	12.2	8.7	62.3
		Tüketim (kWs)	Fark	1.296,2	1.414,5	78.341,5	1.705,6	82.757,8
		Kazanç (%)		5%	22%	90%	22%	65%

Aydınlatma elemanının LED aydınlatmaya revizyonu (M3) ile tüm yıl senaryolarında ısıtma yükünde artış söz konusudur. Önceki bölümlerde açıklaması yapıldığı gibi aydınlatmanın ısıtma yüküne desteğinin kaldırılması ısıtma yükünde negatif sonuca sebep olmaktadır. Müdahalenin 2023 yılı baz modeli üzerindeki çıktısı ısıtma yükünde 5% yük artışına sebep olurken soğutma yükünde 24%, aydınlatma yükünde 90%'lık bir oranda iyileşme sağlamaktadır. 3müdahaleli kurgunun 2050 çıktısı

ise ısıtma yükünde 6% artış, soğutma yükünde 21% oranında, aydınlatma yükünde 90% oranında azalma gözlenmektedir. 2080 yılı verilerinde ısıtma için 7% artış, soğutma yükünde 20%, aydınlatma yükünde 90% düşüş mevcuttur. Aydınlatma yükünde sağlanan yüksek iyileşme, toplam enerji tüketiminde tüketim açığı oluşturmaktadır.

M4 ve M5 müdahalelerinde döşeme ve çatı kurgularında malzeme revizyonu ile birlikte yalıtım malzemesi olarak yenilikçi malzemelerden Aerojel kullanılmaktadır. Mevcut yapıdaki döşeme U değeri $1.075 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den $0.220 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'e dönüşerek ısı iletkenlik değerinde yüksek iyileştirme uygulanmaktadır. Aerojel müdahalesi ile birlikte kalibre modellere ait tüm tekil yüklerde enerji performans iyileşmesi gözlenmektedir. 2023 yılı baz modelinin beş müdahaleli P3 paketi sonucunda yıllık toplam enerji tüketiminde 59% oranında iyileşme sağlanmaktadır. 2050 yılına ait baz modelde paket 3 uygulaması ardından toplam enerji tüketiminde 63% oranında, 2080 yılına ait modelde ise 65% oranında iyileşme gözlenmektedir (Tablo 4.30.).

Tüm paketler içerisine dahil olan aydınlatma sistem değişikliğinde mevcut durumda olan Akkor Flamanlı ampullerin paket 2 ile birlikte floresan aydınlatmaya dönüşmesi Paket 3 ile birlikte LED aydınlatma sistemine geçilmesi söz konusudur. Her müdahale sonrası değerlendirmeye alınan enerji tüketimlerinde aydınlatma elemanlarındaki revizyonun yapı içi aydınlatma, ısıtma ve soğutma tüketimlerinde farklı etkiler oluşturduğu gözlenmektedir. Tablo 4.31.'de görüldüğü gibi paket değişimleri ile birlikte gelen aydınlatma eleman revizyonu sonucunda aydınlatma ve soğutma yükünde azalma gözlenirken ısıtma yükünde artış mevcuttur. Bu durum mevcut halde kullanılan akkor aydınlatmaların güneş ışığından hissedilen ısıya benzer şekilde ısı üretmesi kaynaklıdır. Bu ısıtma etkeni kış aylarında yapı içi ısıtma yüküne destek sunmaktadır. Fakat aynı durum yaz ayları için geçerli görülmemekte ve böylece aydınlatma kaynaklı ısıtma ile birlikte soğutma yükünde artışlar gözlenmektedir. Her iki mevsim durumda da yapı içi tüketime dahil olan ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerindeki bağımsız hareketler Tablo 4.31.'de sunulduğu gibi toplam yük üzerinden değerlendirmeye alınmaktadır. Toplam yük değerlendirmesinde paket 2 ve paket 3'te önerilen aydınlatmalar kaynaklı enerji tasarrufu gözlenmektedir.

Tablo 4.31. *Paket müdahalesine bağlı aydınlatma sistem değişiminin tüketim etkisi*

Tüketim Değerleri (kWh/m ²)	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Toplam
Baz Model- Akkor Flamanlı Aydınlatma	61.6	1.4	122.1	185.1
Paket 1- Kompakt Floresan Aydınlatma	53.3	1.1	21.7	76.0
Paket 2- LED Aydınlatma	61.7	1.3	15.5	78.5
Paket 3- LED Aydınlatma	58.6	1.0	12.0	71.6

4.6. Değerlendirme ve Tartışma

Senaryo değerlendirmelerine dahil olacak kriterler ile müdahale paketlerine ait uygulanabilirlik ve sürdürülebilir performans bakışı amaçlanmaktadır. Mevcut bölüm 2 ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde (Bölüm 4.6.1.) tüm iyileştirme senaryoları her bir kriter çerçevesinde tekil değerlendirilmektedir. İkinci bölümde ise (Bölüm 4.6.2.) iyileştirme senaryolarına ait bütüncül değerlendirmeyi sunmaktadır. Bütüncül değerlendirme, her bir iyileştirme senaryosunun tüm kriter değerlendirmeleri sonucundaki durumunu, TOPSİS tekniği ile elde ettiği puantajı referans almaktadır.

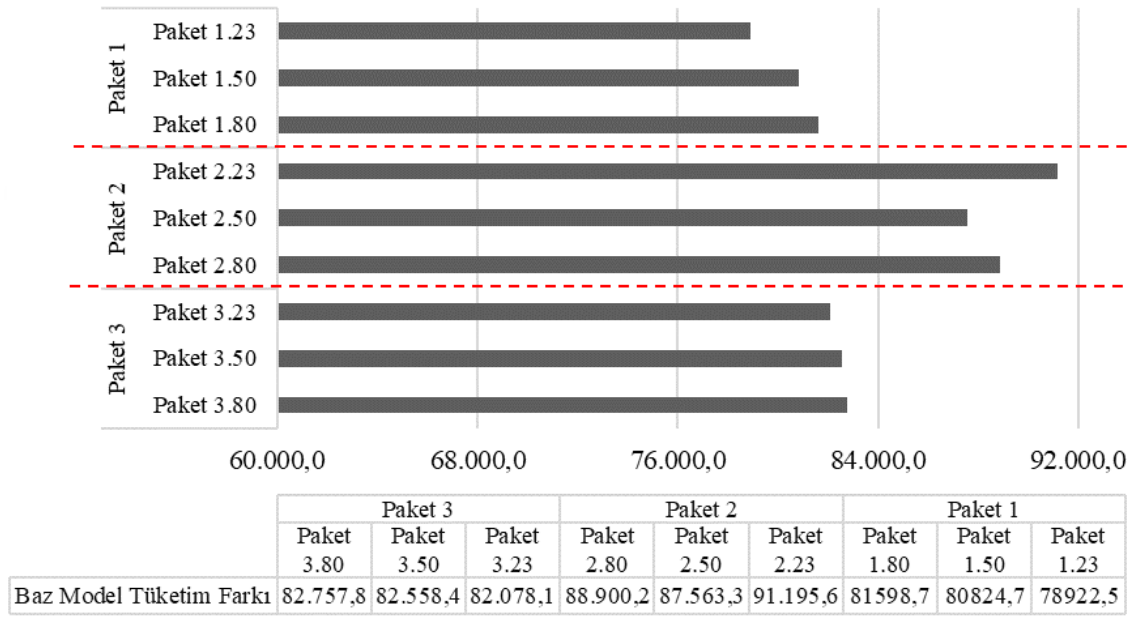
4.6.1. Değerlendirme kriterlerine ait bulgular

Her bir müdahale paketi ile farklı yıllarda oluşturulacak senaryo içeriğine ait yorumlar, kriterler çerçevesinde sağlanmaktadır. Değerlendirme çerçevesi, yıllık toplam enerji tüketimi (K1), karbon emisyonu (K2), iç ortam ısı konforu (K3), tarihi kimlik (K4), geri ödeme planı-fayda maliyet analizi (K5) olmak üzere 5 kriterden meydana gelmektedir. Bu bölümde, senaryolar üzerinden kriter değerlendirmeleri sunulmaktadır.

4.6.1.1. Kriter 1: Paketler arası yıllık toplam enerji tüketimi

Üç farklı konsepte sahip müdahale paketlerinin üç ayrı yıl ikliminde uygulanması sonucu oluşan senaryo değerlendirmeleri bu bölümde öncelikle paket kapsamında ardından yıl kapsamında incelenmekte ve yorumları yapılmaktadır. Müdahale paketi sonrası yıllık toplam enerji tüketiminin baz model tüketimi ile farkını belirten ve tüm senaryo farklarının karşılaştırmasını sunan Şekil 4.50.'ye göre Paket 1'in 2023-2050-2080 yıllarına ait iklim durumlarına adaptasyonunda en yüksek verim 2080 yılı ikliminde sağlanmaktadır. En düşük verim oranına sahip 2023 yılı iklimindeki Paket 1 tüketiminde

baz model tüketimine kıyasla 57% (P1.23), 2050 yılı ikliminde (P2.50) 62%, 2080 ikliminde (P2.80) ise 64% kazanç gözlenmektedir. Paket 1 uygulaması kapsamında en yüksek toplam enerji tüketimi 2023 yılında olmasına rağmen baz model tüketimine göre 78922,5 kWh daha az enerji yükü ile test edilen örneklem yapı üzerinden ciddi miktarda kazanç söz konusudur. Paket 1 senaryoları arasında en ciddi verim farkı 2023-2050 yıllarına ait senaryolarda gözlenmektedir (Şekil 4.50.).



Şekil 4.50. Senaryolara ait baz model enerji tüketim farkı, paket kapsamlı değerlendirme

Paket 2 için en etkin enerji verim değeri 2023 yılı senaryosuna (P2.23) ait olup 91.195,6 kWh değerinde baz model enerji tüketiminde azalma sağlanmaktadır. Ardından en yüksek tüketim farkı 2080 yılına ait senaryoda gözlenmektedir. 2080 yılı iklimindeki Paket 2 uygulamasının baz model üzerindeki etkisi, 88.900,0 kWh değerinde olup, 70% oranında yüksek verim sağlanmaktadır. Paket bazında oluşturulan değerlendirmede tüketim farkı sıralamasında en düşük fark değeri 2050 yılına aittir (Şekil 4.50.) fakat geçerli yıldaki baz model tüketim farkına yönelik hesaplanan verim oranında en düşük değer 2023 senaryosundadır (Tablo 4.32.). Farklı yıllara göre yapılan değerlendirmede, müdahale uygulanan yılın baz model tüketimine bağlı inceleme ilerletilmektedir. Bu nedenle senaryo karşılaştırmalarının, tüketim farkı verim oranı üzerinden ilerletilmesi en

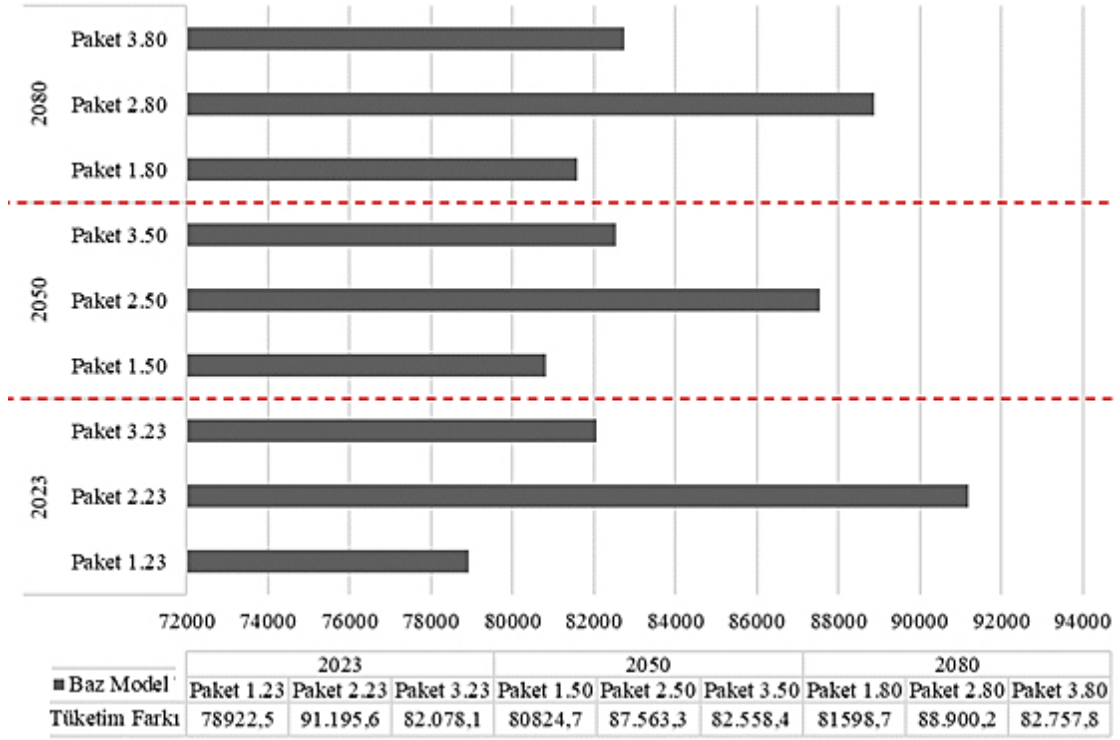
sağlıklı yorumlamayı sağlamaktadır. Bu nedenle Paket 2 için oluşturulan senaryo verim sıralaması; P2.80, P2.50, P2.23 şeklindedir (Tablo 4.32.).

Tablo 4.32. *Senaryo enerji tüketim farklarının verim yüzdeleri*

Müdahale Paketleri	Senaryolar	Baz Model Tüketimi	Senaryo Tüketimi	Tüketim Farkı	Verim Yüzdesi
Paket 1	P1.23	138.871,9	59.949,4	78.922,5	57%
	P1.50	131.083,1	50.258,4	80.824,7	62%
	P1.80	126.837,1	45.238,4	81.598,7	64%
Paket 2	P2.23	138.871,9	47.676,3	91.195,6	66%
	P2.50	131.083,1	43.519,8	87.563,3	67%
	P2.80	126.837,1	37.936,9	88.900,2	70%
	P3.23	138.871,9	56.793,8	82.078,1	59%
Paket 3	P3.50	131.083,1	48.524,7	82.558,4	62%
	P3.80	126.837,1	44.079,3	82.757,8	65%

Paket bazlı değerlendirmenin son bölümünde inovatif müdahale içeriklerini konsept alan Paket 3 bulunmaktadır. Paket 3 ile oluşturulan senaryo incelemesinde baz model tüketiminde sağlanan tüketim açığı tüm yıllarda birbirine oldukça yakın sonuçlar sunmaktadır. En yüksek tüketim açığı 82.757,8 kWh fark ile 2080 yılı senaryosunda sağlanmaktadır. Ardından 82.558,4 kWh fark ile 2050 yıl senaryosu gelmekte ve 82.078,1 kWh tüketim açığı ile en düşük fark 2023 yılında sağlanmaktadır. Verim oranı sıralaması, Paket 3 için tüketim farkı sıralaması ile aynı olmakla birlikte baz model enerji yükü iyileştirmesinde verim sıralaması; P3.80, P3.50, P3.23 şeklindedir. Paylaşılan paket içi sıralamalar göz önüne alındığında tüm senaryolarda 50% üzeri enerji verimi gözlenmekte ve tüm paket ve senaryolar baz model tüketim yükünde iyileştirme sağlamaktadır (Şekil 4.50.).

Paket bazlı değerlendirmenin ardından yıl kapsamında yapılacak değerlendirme Şekil 4.51. ile aktarılmaktadır. 2023 yılı ikliminde tüm paketlerin baz model tüketimine etkisi karşılaştırıldığında en etkin tüketim farkı Paket 2 ile sağlanmaktadır. Ardından paket 3 ve en düşük tüketim farkı Paket 1 ile sağlanmaktadır. Bu sıralama tüm yıllar için aynıdır. 2023, 2050 ve 2080 yıllarındaki tüm paket uygulamaları iyileştirme etkilerinde yenilenebilir enerji kaynağı barındıran Paket 2 müdahalelerinin daha yüksek tüketim açığı oluşturduğu gözlenmektedir. Yine aynı şekilde tüm yıllarda ortak olan bir diğer bulgu, 2080 paketi ile diğer paketler arası tüketim fark açığı fazla iken 2023-2050 iyileştirme etkisinin birbirlerine daha yakın sonuç değerler vermesidir (Şekil 4.51.).



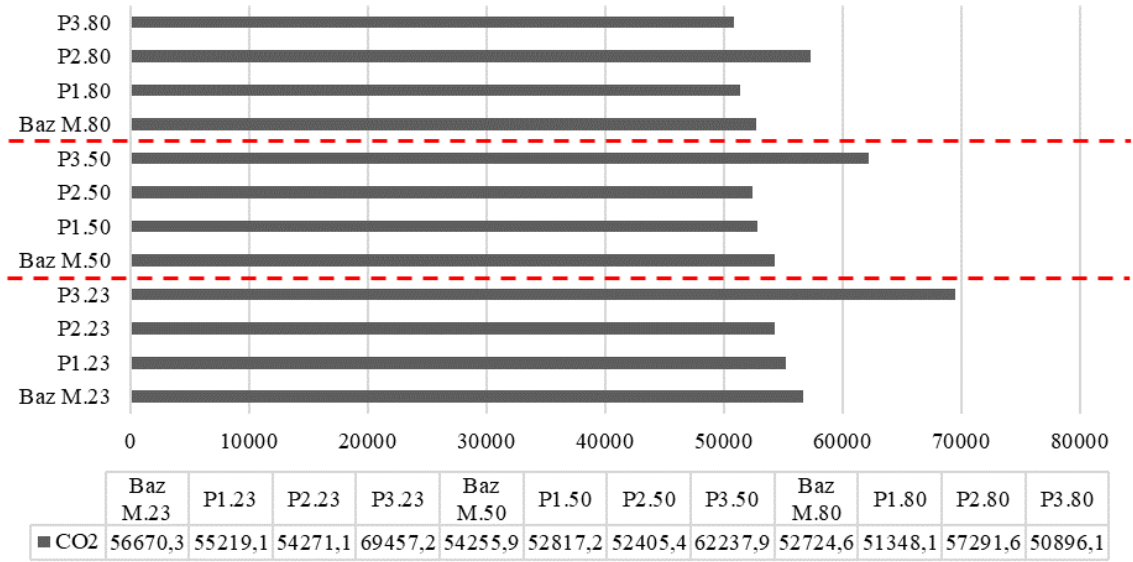
Şekil 4.51. Senaryolara ait baz model enerji tüketim farkı, yıl kapsamlı değerlendirme

Tüm senaryoların etki değerlerine genel bakışta en yüksek tüketim açığı 2023 yılı Paket 2 müdahalesi ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte en düşük tüketim yükü açığı ise yine 2023 yılı ikliminde uygulanan Paket 1 müdahalelerinde gerçekleşmektedir. Senaryolara ait değerlendirme sonucunda paket kapsamlı puantaj sistemi uygulanmakta ve ikinci bölümde tüm senaryoların puan dağılımları aktarılmaktadır.

4.6.1.2. Kriter 2: Paketler arası karbon emisyonu

Atmosferdeki karbondioksit (CO_2) seviyesinin artması, iklim ve ekosistemdeki negatif durumun önemli göstergelerinden biridir. Bu nedenle iklim krizine yönelik alınan tüm önlemlerde karbon emisyonunda düşüş hedefi bulunmaktadır (Martin-Roberts vd., 2021, s. 1569). Böylelikle, mevcut tez amacına yönelik hazırlanan enerji etkin müdahale paketlerinin oluşturduğu karbon emisyonu paket ve senaryo değerlendirmelerinde önemli bir role sahiptir. DesignBuilder programı üzerinde oluşturulan simülasyon modeline ait karbon emisyonu çıktıları, programın simülasyon aracı içerisindeki CO_2 verileri ile sağlanmıştır. Simülasyon raporlarında, oluşturulan modellerdeki tüm yapı malzemeleri

ve sistem donatılarının gömülü karbon verilerine ve yapı kullanım aşamasında ortaya çıkan karbon verilerine erişim mümkündür. Gömülü karbon, inşaat malzemelerinin üretim, ulaşım ve imalat sürecinde kullanılan enerjiden kaynaklanmaktadır (Köksal, 2023, s.18). Müdahale paketleri için paylaşılan karbon emisyonları yapı kullanım aşamasında ortaya çıkan emisyonları temsil etmektedir. Müdahale paketleri ile oluşturulan her bir senaryonun karbon emisyonu Şekil 4.52.'de karşılaştırmalı olarak sunulmakta ve paket ve senaryoların emisyon değerlendirmeleri bu bölümde tartışılmaktadır. Şekil 4.52. sunumunda farklı yıllarda uygulanan paket emisyonları bir arada verilmektedir.



Şekil 4.52. Senaryolara ait yıllık karbon emisyonu karşılaştırması

2023 yılında uygulanan paket emisyonlarına göre Paket 1 ve Paket 2 uygulamalarında baz modelin 2023 yılı karbondioksit emisyonunda azalma gözlenmektedir. Literatürde kullanım yaygınlığı tespit edilen müdahaleleri barındıran Paket 1 uygulaması ile baz model karbon emisyonunda 1.451,2 kgCO², yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren Paket 2 uygulaması ile 2.399,2 kgCO² düşüş sağlanmaktadır. Mevcut yıl içerisinde en yüksek emisyon değeri Paket 3 senaryosuna aittir.

2050 yılı senaryo karbon emisyonlarına bakıldığında 2023 ile benzer emisyon sıralaması gözlenmektedir. Baz model karbon emisyonuna göre Paket 1'de 1.438,7 kgCO², Paket 3'te 1.850,5 kgCO² düşüş, Paket 3 uygulaması sonucunda 7.982,0 kgCO² emisyon artışı gözlenmektedir. 2080 yılında ise Paket 1 ve Paket 3'te karbon

emisyonda azalma sağlanırken Paket 2 müdahaleleri sonrası emisyon değeri yükselmektedir.

Senaryolara yönelik genel değerlendirmede, tüm yıllarda Paket 1 uygulaması sonrası baz modele göre emisyon sıralaması ortak olup, paketler arası sıralamada ortalama performans sunmaktadır. Paket 3'e ait karbon emisyon grafiği ise ilerleyen yıllarda düşüş göstermektedir. Yenilenebilir kaynak kullanımını örnekleyen Paket 2'nin emisyon grafiğinde ise 2023 ve 2050 yıllarında minimum karbon emisyonu mevcut iken 2080 yılında en yüksek emisyon sonucu sunmaktadır.

Tablo 4.33. *Tüm senaryolara ait aylık karbon emisyonları*

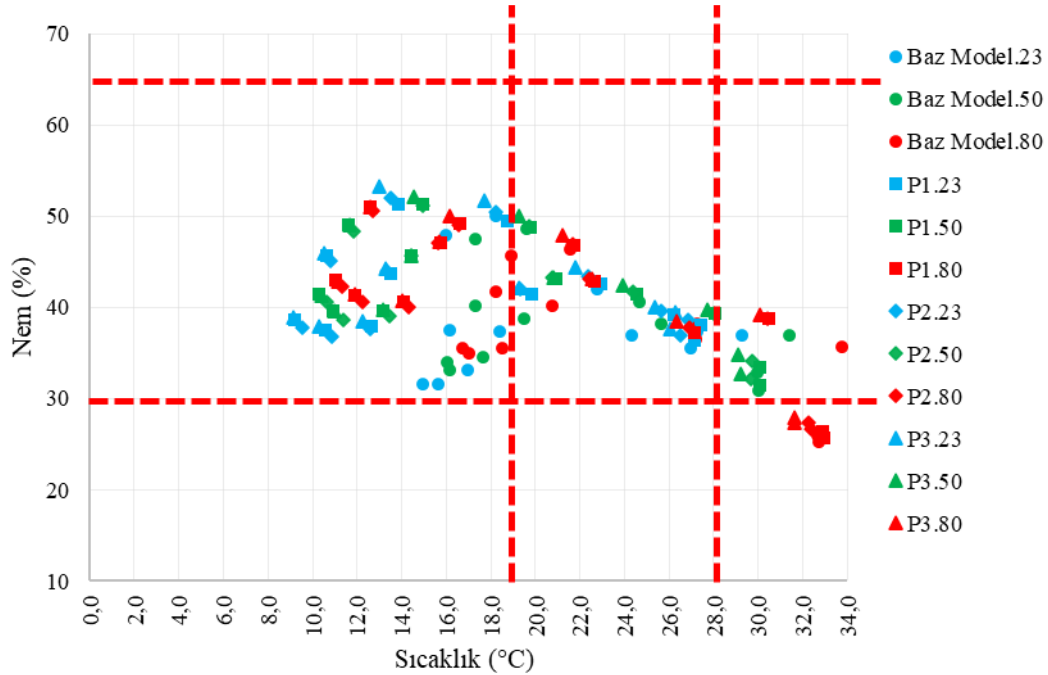
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Baz M.23	7187,3	5891,1	5839,7	3599,8	3583,0	3458,4
Baz M.50	6468,1	5485,8	5380,3	3589,2	3577,8	3478,8
Baz M.80	6082,6	5056,0	5068,0	3580,1	3573,4	3549,2
P1.23	6551,1	5482,1	5335,8	3503,7	3583,6	3448,1
P1.50	6109,8	5177,4	4986,4	3503,7	3583,6	3462,3
P1.80	5784,1	4802,6	4715,3	3502,7	3583,6	3505,5
P2.23	12103,8	9360,7	8039,2	3219,5	2934,5	2598,1
P2.50	10408,6	8252,0	6815,3	3119,6	2885,8	2610,4
P2.80	9435,8	7150,1	6015,3	3047,9	2857,7	2618,3
P3.23	6821,2	5667,9	5473,5	3503,7	3583,6	3444,5
P3.50	6221,8	5249,7	5024,5	3503,7	3583,6	3460,7
P3.80	5892,0	4863,2	4748,2	3503,7	3583,6	3514,5
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Baz M.23	3736,5	3604,0	3895,8	4361,2	5236,8	6276,7
Baz M.50	3866,8	3739,3	3895,8	4248,2	4874,7	5651,1
Baz M.80	4000,8	3872,6	3895,8	4189,6	4586,4	5270,1
P1.23	3710,2	3581,2	3770,9	4242,7	4973,4	6088,2
P1.50	3787,7	3657,4	3766,8	4138,2	4653,7	5578,5
P1.80	3857,7	3726,4	3766,8	4072,6	4388,1	5190,7
P2.23	2773,5	2763,4	3172,4	4399,0	7467,6	10625,4
P2.50	2849,2	2864,1	3178,1	4045,9	6334,2	8874,8
P2.80	2920,6	2948,6	3164,9	3842,7	5540,5	7749,2
P3.23	3708,6	3578,6	3772,9	4271,4	5099,1	6294,1
P3.50	3817,6	3688,8	3766,8	4141,5	4692,1	5666,5
P3.80	3921,2	3792,5	3766,8	4074,1	4418,8	5269,5

Senaryolara ait yıllık karbon emisyonunun farklı aylara dağılımı Tablo 4.33.'te aktarılmaktadır. Tablo 4.33. üzerinde, tüm paketlere ait emisyon miktarları ısıtma sezonlarında diğer sezonlara göre daha yüksek değerler sergilemektedir.

4.6.1.3. Kriter 3: Paketler arası ısı konfor

Bu bölümde oluşturulan senaryoların baz model ısı konforuna etkisi ve senaryoların ısı konfor sınırlarını sağlama oranları tartışılmaktadır. Uygulanan müdahalelerin ardından yapı içerisindeki ısı konfor durumunun analizi ve farklı iklimlerdeki ısı konfor sürdürülebilirliği incelenmektedir. Tezin 4.2.3. bölümünde aktarılan ASHRAE 55 kılavuzu gereğince paylaşılan ısı konfor sıcaklık-nem aralıkları referans alınarak senaryo değerlendirmeleri yapılmakta ve mevcut aralıktaki senaryo temasları Şekil 4.53.'te aktarılmaktadır.

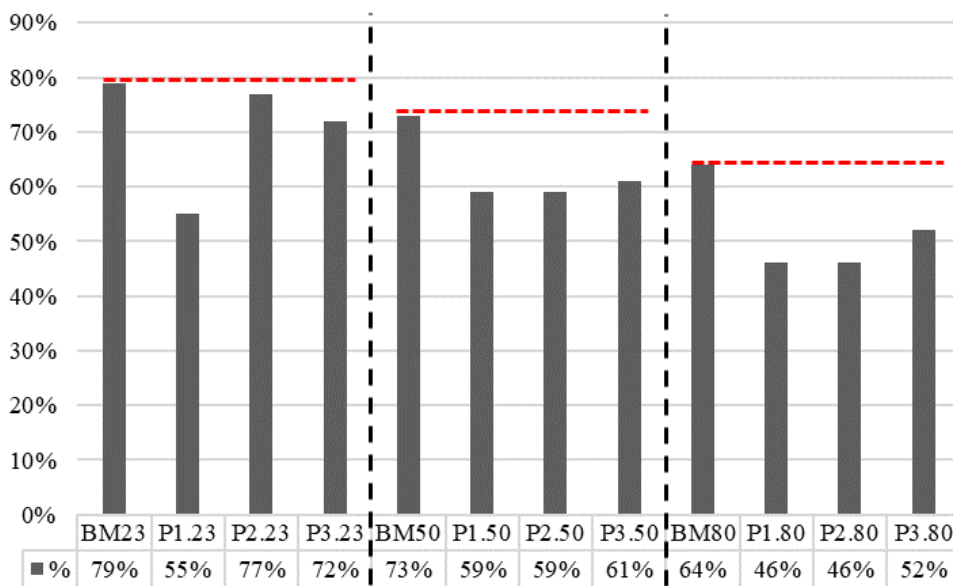
Şekil 4.53. sunumu, senaryoların aylık sıcaklık-nem değerlerine göre hazırlanmış ve senaryolara ait genel bir aktarım amaçlamaktadır. Her bir senaryoya ait farklı şekil tayini ile aralık içerisindeki temas ayrışımı hedeflenmektedir. ASHRAE 55 kılavuzunda belirtilen ısı konfor aralıkları grafik üzerine işlenmekte ve sıcaklık-nem değerleri çaprazlama yöntemi ile sunulmaktadır.



Şekil 4.53. Senaryolara ait sıcaklık-nem dağılımları ve ASHRAE standardına göre konfor aralıklarındaki yerleri

Bu genel değerlendirmede ASHRAE 55 ısı konfor aralığı içerisindeki senaryo varlıkları seyrek gözlenmekle birlikte özellikle Paket 3 sonuçlarının belirtilen aralık içerisindeki teması diğer paketlere göre daha az bulunmaktadır. Kılavuzda belirtilen nem yüzdeleri kapsamı tüm senaryolarda yüksek oranda sağlanmakta fakat sadece 2080 yılı iklimindeki müdahale paketi sonuçlarında düşük nem gözlenmektedir. Bu durum, ilerleyen yıllarda oluşması beklenen iklim değişimi sonucu nem problemlerine yönelik müdahale içeriğinin artırılması için bir ön bilgi sağlayabilmektedir. Senaryoların konfor değerlendirmelerine dair genel yorumların daha sağlıklı ifadesi için tüm senaryoların sıcaklık-nem değerleri arasındaki yeri saatlik veriler ile araştırılmakta ve şekil 4.54'te ısıtma sezonu boyunca (Kasım-Mart) senaryolardaki konfor dışı saat yüzdeleri paylaşılmaktadır.

şekil 4.54 sunumunda yıl bazlı paket değerlendirmeleri ve baz model ısı konforuna etki yorumu öncelik alınmaktadır. 2023 yılı çıktılarında en yüksek konforsuz saat verisi baz modele ait olup tüm paket uygulamalarında ısı konfor sıklığında iyileşme sağlanmaktadır. 2023 uygulamalarında konforsuz saat yüzdesi en düşük senaryo Paket 1'e aittir. Böylelikle belirtilen kapsamda en etkin iyileşme Paket 1 (55%) ile sağlanmaktadır. Ardından konforsuz saat sıralaması Paket 3 ve Paket 2 olarak devam etmektedir. Böylece 2023 yılı ısı konfor değerlendirmesinde baz model üzerinde 2% oranı ile en az iyileşme, yenilenebilir enerji kaynaklarını barındıran Paket 2 senaryosunda gözlenmektedir.



şekil 4.54. Senaryoların ısı konfor dışında kalan alan sıklığları (saatlik)

2050 yılına ait ısı konfor iyileştirmesinde tüm paket etkileri birbirine yakın seviyededir. 73% oranında konforsuz saat tespiti yapılan baz model üzerinde Paket 3 müdahaleleri sonrası konfor dışı saat 61%'e düşmektedir. Paket 1 ve Paket 2 müdahaleleri ısı konfor kapsamında aynı sonuç çıktısı sunmakta ve konforsuz saat yüzdesini 59%'a düşürmektedir. 2050 yılı için en etkin iyileştirme 14% değerindeki düşüş sonucu Paket 1 ve Paket 2 ile sağlanmaktadır (Şekil 4.54.).

Baz modelin 2080 iklimi simülasyonunda 64% oranında konfor dışı saat gözlenmektedir. Baz model kapsamında yapılan değerlendirmede ise ısı konfor çerçevesinde en pozitif sonuç 2080 yılına ait olmaktadır. Baz model için konforsuz saat yüzdesi en yüksek yıl 2023 yıl iklimindedir (79%). 2080 yılında uygulanan müdahaleler sonucunda Paket 3 ile konforsuz saat yüzdesi 52%'ye düşürülmektedir. Mevcut yıl ikliminde Paket 1 ve Paket 2 müdahaleleri 2050 yılı verilerinde olduğu gibi aynı sonuç çıktısına sahiptir. Baz model üzerinde her iki paket de 18%'lik oranda iyileştirme sunmakta ve konforsuz saat oranını 46%'ya düşürmektedirler (Şekil 4.54.).

4.6.1.4. Kriter 4: Paketler arası tarihi miras değeri

Mevcut tez içerisindeki vaka çalışması, tezin araştırma sorusu ve hipotezine uygun bir kültürel miras binasında üzerinde gerçekleştirilmektedir. Yerinde ölçüm ve gözlemler yürütülen çalışma içerisinde kültürel miras dikkati tüm aşamalarda ve tüm çalışmalarda üst düzeyde tutulmakta, yapı üzerinde yapılacak tüm işlemler, kurul üyelerinin bilgi ve izinleri doğrultusunda yürütülmektedir. Belirtilen dikkat ve hassasiyet, örneklem yapı üzerinde geliştirilen müdahale tasarılarında da gözetilmekte, çalışılan senaryoların değerlendirme kriterleri içerisinde bu dikkate dair sorgulamalar ve analizler yer almaktadır.

Kültürel miras yapılarının belirli dönemlerde, belirli ihtiyaçlar sonucunda sağlamlaştırma, onarım, yenileme gerekliliği söz konusudur. Tarihi yapı restorasyonu konusunda yüz yıllar boyunca geliştirilen, üslup birliği, romantik görüş, tarihi restorasyon ve çağdaş restorasyon kuramı gibi farklı bakış açıları söz konusudur. İtalyan Camillo BOİTO tarafından, belirtilen tüm bakış açıları çağdaş restorasyon anlayışı kapsamında bütünleştirilmektedir. Bu doğrultuda belirtilen görüşlere göre müdahale edilmesi zorunlu durumlarda uygulanacak restorasyon eylemlerinde tarihi yapının görsel bütünlüğü ve

biçimine saygı gösterilerek, müdahale uygulanan döneme uygun malzeme seçimi gerçekleştirilmektedir. Farklı dönemlerde uygulanan müdahale içeriği, o dönemin izini taşıyarak yapı üzerinde tarihi kimliğin önüne geçmeden farklı dönem eki olduğunu belirtecek nitelik taşımalıdır (Ahunbay, 2010, s. 18).

Tablo 4.34. İyileştirme müdahalelerinde tarihi kimlik değerlendirmesi

Tablo 4.34 verileri doğrultusunda müdahale paketlerine dair değerlendirme, yöntem tanıtımında belirtildiği gibi 1-2-3 puanları çerçevesinde yapılmakta ve her bir pakete Tablo 4.34 referansı ile puan atanmaktadır. Bu durumda, tarihi miras değeri tartışması Paket 1, Paket 2 ve Paket 3 üzerinde gerçekleştirilmekte, yorumlar ve yorumlara karşılık gelen puan değeri Tablo 4.35.'te paylaşılmaktadır.

Günümüz literatüründe sık kullanımı söz konusu olan ve yapı üzerinde tarihi kimliğe minimum düzeyde müdahale içeriğine sahip Paket 1 için en yüksek değerlendirme puanı, 3 puan uygun görülmektedir. Ardından inovatif yenilikçi malzeme müdahalelerine yer verilen Paket 3 incelemesinde, örneklem yapının pencerelerine uygulanan Termokromik malzeme müdahalesi dışında tarihi kimlikte etkisi ön görülen müdahale içeriği bulunmamaktadır. Termokromik malzemenin renk değiştirme özelliği tarihi yapı üzerinde büyük bir kimlik etkisi oluşturmamakla birlikte Paket 1 kıyası sonucu paket değerine 2 puan olarak karar verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını konsept alan Paket 2, çatı yüzeyine eklemlenen PV paneller dolayısıyla tüm paketlere ait tarihi miras değerlendirmesinde en düşük puanı almaktadır (Tablo 4.35.).

Tablo 4.35. Tarihi miras değerlendirmesi sonucu paketlere ait puanlar

Paket İsmi	Puan Değeri
Paket 1	3
Paket 2	1
Paket 3	2

4.6.1.5. Kriter 5: Paketler arası geri ödeme süresi

Senaryolara ait değerlendirme kriterlerinden birisi olan geri ödeme planı değişkeninde paket bazlı değerlendirme ileletilmektedir. Bunun nedeni, geri ödeme süre hesabında toplam maliyetin hesaba dahil edilmesidir. Maliyet hesabı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu 2024 Birim Fiyat listesi üzerinden yürütülmekte olup listede olmayan malzemeler piyasa araştırması sonucu karşılaştırılan firmalardan seçilmekte ve hesaba dahil edilmektedir. ABD Doları ve Euro cinsinde paylaşılan fiyatlar 02.02.2024 tarihli döviz kuruna göre kabul alınmakta (1ABD: 30,50 TL) ve tüm malzeme fiyatları ABD doları hem de TL cinsinden paylaşılmaktadır. Sunulan geri ödeme hesaplarında, gelecek yıllardaki maliyet ve fatura değerlerine ilişkin öngörüler için gelecek değer faktörü (Future Value) kullanılmaktadır. Gelecek değer,

belirli bir getiri oranı (faiz oranı) varsayılarak, kurgulanan yatırımın belirli bir süre sonraki durumunu, yatırım için ayrılan para miktarı ile bugün için hesaplanan harcamaların gelecek yıllar için karşılığını sunmaktadır (Rezai vd., 2021; Souza de Almeida vd., 2022). Gelecek değer hesabında kullanılan formül Tablo 4.36.'da paylaşılmaktadır.

Tablo 4.36. Gelecek değer hesap formülü

$FV = PV \times (1 + r)^n$
FV= Gelecek değer (Future Value)
PV= Şimdiki değer (Present Value)
r= Faiz oranı
n= Yıl sayısı

Çalışma içerisinde enflasyon oranı olarak ticari yatırımlar için tercih edilen Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE) kullanılmıştır. 2022 yılı itibari ile gözlenen dalgalı enflasyon grafiği nedeniyle 2008-2023 yılları arasındaki yıllık değişim oranları kullanılarak (TC. Merkez Bankası, 2024) 15 yıllık ortalama değer elde edilmiş ve çalışma içerisindeki gelir ve gider hesaplarında elde edilen TÜFE ortalama değeri kabul alınmıştır. Kullanılan TÜFE ortalaması 17,46% olarak hesaplanmıştır. Paketler içerisinde yer alan malzemelerin fiyat karşılıkları Tablo 4.37'de sunulmaktadır.

Tablo 4.37. Müdahale paketlerine ait maliyet hesapları

Müdahaleler			Poz No	m/m ² / adet	Birim Fiyat	Tutar (TL-₺)	Tutar (ABD-\$)
PAKET-1	M1	Çift Cam-Argon Gazı	15.470.1004	76,00m ²	1568,38	119.196,88	3.908,09
	M2	Kauçuk Bant		57m (4 adet)	339,00 (50mm-15m)	1.356,00	44,46
	M3	Floresan Aydınlatma	35.170.7201	20 adet	872,00	17.440,00	571,80
	M4	Taş Yünü (5cm)	10.130.3151	727,5m ²	215,00	156.412,50	5.128,28
	M5	Taş Yünü (5cm)	10.130.3151	315m ²	215,00	67.725,00	2.220,49
TOPLAM-Paket 1						362.130,38₺	11.873,13\$
PAKET-2	M1	Çift Cam	15.470.1004	76,00m ²	1.006,38	76.484,88	2.507,70
		Şeffaf PV Panel (120-60-7mm)		32adet	115 Dolar	112.240,00	3.680,00
		Akü (150 Ah)		5adet	164,87 Dolar	25.142,10	824,33
		İnverter (5000W)		1adet	18.269,50	18.269,50	599,00

Tablo 4.37. (Devam) Müdahale paketlerine ait maliyet hesapları

M2	Kauçuk Bant		57m (4 adet)	339,00 (50mm-15m)	1.356,00	44,46	
M3	LED Aydınlatma	35.170.1108	20 adet	1.900,00	38.000,00	1.245,90	
M4	Taş Yünü (5cm)	10.130.3151	727,5m ²	215,00	156.412,50	5.128,28	
M5	PV Panel		80adet	4.823,84	385.907,20	12.652,70	
	Akü (200 Ah)		15adet	9.150,00	137.250,00	4.500,00	
	İnverter (10.000W)		1adet	38.369,00	38.369,00	1.258,00	
TOPLAM-Paket 2					989.431,18₺	32.440,37\$	
PAKET-3	M1	Çift Cam-Güneş Kontrollü	15.470.1412	76,00m ²	1.746, 13	132.705,88	4.351,01
	M2	Poliüretan Köpük	15.305.1214	57m	179,76	10.246,32	335,94
	M3	LED Aydınlatma	35.170.1108	20 adet	1.900,00	38.000,00	1.245,90
	M4	Aerojel Dolgu	1220-760-7mm	727,5m ²	1.525,00	1.109.437,50	36.375,00
	M5	Aerojel Dolgu	1220-760-7mm	315m ²	1.525,00	480.375,00	15.750,00
TOPLAM-Paket 3					1.770.764,70₺	58.057,86\$	

Tablo 4.37. verileri ile sunulan müdahale maliyetlerine göre paketler için yapılan harcamalar sunulmaktadır. Üç paket içerisinde maliyet olarak en düşük rakama sahip müdahale paketi birinci pakettir. Ardından maliyet sıralamasında ikinci paket gelmekte ve en yüksek maliyet tutarı üçüncü pakete ait olmaktadır. Paket 1 için toplam sistem maliyeti 11.873,13ABD x 30,50 TL=362.130,38 Türk Lirası olarak hesaplanmakta ve paket içi en yüksek harcama kalemi döşemelere uygulanacak yalıtım müdahalesine ait olmaktadır (M4). Paket 2 için toplam sistem maliyeti 32.440,37ABD x 30,50 TL=989.431,18 Türk Lirası olarak hesaplanmaktadır. Paket içi en yüksek kalem ise çatı yüzeyine yerleştirilen PV panellerden oluşan M5 müdahalesidir. Paket içerisinde PV panel maliyeti önemli bir paya sahiptir. En yüksek müdahale maliyetine sahip Paket 3 için toplam sistem değeri ise 58.057,86ABD x 30,50= 1.770.764,70 Türk Lirasıdır. inovatif, yenilikçi malzemeler barındıran paket içerisinde en yüksek kalem, M4 müdahalesinde yer alan döşemeler için aerojel yalıtım uygulamasıdır.

Paketlere ait geri ödeme süresinde gelecek değer hesaplaması kullanılmıştır. Gelecek değer, bugün için söz konusu olan gelir ya da gider olarak tanımlı para

miktarının, belirlenen faiz oranı ile n olarak tanımlanan yıl sonrasındaki değerini, belirlenen yıl sonundaki faizli rakamını sunmaktadır (Nikolai vd., 2009, s. 6). Paketlere ait geri ödeme hesabında, bugün uygulanacak olarak ele alınan müdahale paketinde maliyet ve fatura tüketimleri gider sınıfında yer almakta ve bugünün (2024 Ocak) birim fiyat değerleri üzerinden hesaplanmaktadır. Toplam maliyetin yıllık kazanca oranı (Tablo 4.38.) ile elde edilen geri ödeme hesabı içerisine, mevcut çalışmada kazanç değerleri için paketler arası yıllık enerji tüketimleri dikkate alınmakta ve baz model enerji tüketiminde sağlanan fark değerleri (Tablo 4.32.) kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada, kabul edilen enflasyon oranına bağlı gelecek kazanç rakamlarının değişmesi nedeniyle geri ödeme süre hesabı, EXCEL üzerinden her yıl için hesaplanan fatura kazançları ile elde edilmektedir. Tablo 4.39’da kWh cinsinden sunulan enerji tüketim farkları gelecek her yıl için o yıla ait kazanç miktarı olarak hesaplanmakta ve bu noktada gelecek değer (FV) faktörü kullanılmaktadır. 2024 yılı elektrik-gaz birim fiyatları ile hesaplanan değer üzerinden her yıl için gerçekleştirilen enerji tüketimindeki azalan hesap çıktıları, yıllık geri ödeme eksileri ile EXCEL üzerinden ilerletilmekte ve paketin kendini amorti ettiği yıl sonucuna tablo üzerinden ulaşılmaktadır. Her pakete ait mevcut geri ödeme hesapları Tablo 4.39., 4.40., ve 4.41.’de paylaşılmaktadır.

Tablo 4.38. Geri ödeme süresi hesap formülü

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{(\text{Toplam maliyet})} / \frac{\text{Yıllık Net Nakit Akışı}}{(\text{Yıllık Kazanç})}$$

Tablo 4.39., 4.40. ve 4.41.’de sunulan tablo anlatımı içerisinde maliyet hesabının TL ve Dolar karşılığı birlikte verilmektedir. İlk yıl için hesaplanan yatırım maliyeti ve fatura giderlerinin ilerleyen yıllarda sağlanan enerji kazancı sonrası yatırım getirisi değerleri tablonun son iki sütununda yer almaktadır.

Tablo 4.39. Paket 1’e ait geri ödeme tablosu

Yıl	Gider kalemleri		Enerji (Fatura)		Yatırım Getirisi	
	Yatırım Maliyeti +		Kazancı			
	Fatura Tüketimi					
	TL	ABD	TL	ABD	TL	ABD
0 2024	-682.913,59	-22.390,61	-	-	-	-
1 2025	-682.913,59	-22.390,61	156.789,97	5.140,65	-562.123,62	-17.249,95
2 2026	-562.123,62	-17.249,95	184.165,50	6.038,21	-341.958,12	-11.211,74

Tablo 4.39. (Devam) Paket 1'e ait geri ödeme tablosu

3	2027	-341.958,12	-11.211,74	216.320,80	7.092,49	-125.637,32	-4.119,26
4	2028	-125.637,32	-4.119,26	254.090,41	8.330,83	+128.453,09	+4.211,58

Tablo 4.40. Paket 2'ye ait geri ödeme tablosu

Yıl	Gider kalemleri		Enerji (Fatura) Kazancı		Yatırım Getirisi	
	Yatırım Maliyeti + Fatura					
	Tüketimi					
	TL	ABD	TL	ABD	TL	ABD
0 2024	-1.310.214,39	-42.957,85	-	-	-	-
1 2025	-1.310.214,39	-42.957,85	171.541,76	5.624,32	-1.138.672,63	-37.333,53
2 2026	-1.138.672,63	-37.333,53	201.492,95	6.606,33	-937.179,68	-30.727,20
3 2027	-937.179,68	-30.727,20	236.673,61	7.759,79	-700.506,07	-22.967,41
4 2028	-700.506,07	-22.967,41	277.996,83	9.114,65	-422.509,24	-13.852,76
5 2029	-422.509,24	-13.852,76	326.535,07	10.706,07	-115.974,17	-3.802,43
6 2030	-115.974,17	-3.802,43	383.548,10	12.575,35	267.573,93	8.772,92

Tablo 4.41. Paket 3'e ait geri ödeme tablosu

Yıl	Gider kalemleri		Enerji (Fatura) Kazancı		Yatırım Getirisi	
	Yatırım Maliyeti + Fatura					
	Tüketimi					
	TL	ABD	TL	ABD	TL	ABD
0 2024	-2.091.547,91	-68.575,34	-	-	-	-
1 2025	-2.091.547,91	-68.575,34	150.962,42	4.949,59	-1.940.585,49	-63.625,75
2 2026	-1.940.585,49	-63.625,75	177.320,45	5.813,79	-1.763.265,04	-57.811,97
3 2027	-1.763.265,04	-57.811,97	208.280,61	6.828,87	-1.554.984,43	-50.983,10
4 2028	-1.554.984,43	-50.983,10	244.646,40	8.021,19	-1.310.338,03	-42.961,90
5 2029	-1.310.338,03	-42.961,90	287.361,66	9.421,69	-1.022.976,37	-33.540,21
6 2030	-1.022.976,37	-33.540,21	337.535,01	11.066,72	-685.441,36	-22.473,49
7 2031	-685.441,36	-22.473,49	396.468,62	12.998,97	-288.972,74	-9.474,52
8 2032	-288.972,74	-9.474,52	465.692,04	15.268,59	176.719,30	5.794,08

Tablo 4.39., paket 1'e ait geri ödeme planını sunmaktadır. Yatırımın yapıldığı 2024 yılı sonrası 2025 yılı ile birlikte başlanan enerji kazanç getirisi, Paket 1'in 4 yılın sonunda kendisini amorti edeceğini göstermektedir. Böylece paket 1'in geri ödemesi 2028 yılında tamamlanmaktadır. Paket 2'nin geri ödemesi 6.yılda gerçekleşmekte ve 2030 yılında,

yapılan yatırım tamamen karşılanmaktadır (Tablo 4.40.). Bu durum, paket 3 için 8. yılda gerçekleşmekte ve 2032 yılında Paket 3 kendisini amorti etmektedir (Tablo 4.41.). Sunulan hesaba göre Paket 1'e ait geri ödeme süresi 4 yıl, paket 2 için 6 yıl, paket 3 için ise 8 yıldır. En yüksek geri ödeme süresi Paket 3'e ait iken en kısa amorti süresi Paket 1'e aittir.

4.6.1.6. Bölüm sonucu ve senaryolara ait kriter değerlendirmeleri

Üst bölümde tüm senaryolar 5 kriter çerçevesinde değerlendirilmekte ve baz model üzerindeki etkileri birbirleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu bölümde, yapılan tüm değerlendirmelerin puanaj sistemindeki karşılıkları belirlenmekte ve açıklamaları ile sunulmaktadır. Tablo 4.42.'de yıl kapsamında paket karşılaştırmalarına bağlı puanlamalar yapılmakta ve tablo sonunda her senaryoya ait toplam puan değerleri paylaşılmaktadır.

Tablo 4.42. Tüm kriterler çerçevesinde senaryolara ait puan tablosu

SENARYOLAR	Yıllık Enerji T. (K1)	Karbon Emisyonu (K2)	Isıl Konfor (K3)	Miras Değeri (K4)	Geri Ödeme Planı (K5)	TOPLAM (K1+K2+K3+K4+K5)
2023	Paket 1	1	2	3	3	12
	Paket 2	3	3	1	2	10
	Paket 3	2	1	2	1	8
2050	Paket 1	1	2	2	3	11
	Paket 2	3	3	2	1	11
	Paket 3	2	1	1	2	7
2080	Paket 1	1	2	2	3	11
	Paket 2	3	1	2	1	9
	Paket 3	2	3	1	2	9

2023 yılı paket değerlendirmesinde, ilk kriter olan yıllık enerji tüketiminde (K1) en yüksek verim Paket 2 ile sağlanmakta ve en yüksek puana sahip olmaktadır. Ardından yıllık enerji tüketiminde verim sırası Paket 3 ve Paket 1 şeklinde devam etmektedir. Buna bağlı 2 ve 1 puanları 2023 yılı Paket 3 ve Paket 1'e dağıtılmaktadır. Yıllık enerji tüketiminin 2050 ve 2080 yılları değerlendirmesinde verim ve bununla birlikte puan sırası aynıdır. İkinci kriter olan karbon emisyonu değerlendirmesinde (K2) 2023 yılı için en düşük emisyon, Paket 2 ile sağlanmakta ve böylece en yüksek puanı (3 puan) almaktadır.

Karbon emisyonu sıralaması Paket 2, Paket 1 ve Paket 3 şeklindedir. Bu durumda en yüksek karbon inovatif-yenilikçi malzemelerin kullanıldığı Paket 3'te gözlenmektedir. 2023 yılı için aktarılan karbon emisyon sıralaması 2050 yılı içinde aynıdır. 2080 yılında ise geçmiş yıllarda en yüksek emisyon değerine sahip Paket 3 uygulaması en düşük emisyon sonucunu vermektedir. Bu durum farklı yıl değişkenine bağlı iklim etkisi üzerinde yorumlanmaktadır. Paket 3'ün ardından en düşük emisyon miktarı 2080 yılı için Paket 1'de gözlenmekte ve en yüksek emisyon Paket 2 uygulaması sonucu elde edilmektedir. 2080 yılı sonuçlarında 2023 ve 2050 yılı sonuçlarına göre Paket 2 ve Paket 3 davranışları birbiri ile yer değiştirmektedir (Tablo 4.42.).

Müdahaleler sonrası iç mekan ısı konfor incelemesinde (K3) 2023 sıralaması Paket 1, Paket 3 ve Paket 2 şeklinde olup en iyi iç mekan konfor Paket 1 müdahaleleri sonucu sağlanmaktadır. 2023 yılı ikliminde iç mekanda konfor dışı saat yüzdesi en yüksek paket sonucu Paket 2'ye aittir. Bu değerlendirme sırası 2050 ve 2080 yılında değişmektedir. İki yılda da Paket 1 ve Paket 2 ısı konfor sınırlarının sağlandığı saat yüzdesi birbirine eşit ve yıl içi değerlendirmede en iyi sonucu vermektedir. Bu nedenle bu yıllardaki (2050-2080) puan dağılımı 2-2-1 şeklindedir (Tablo 4.42.).

Paketler arası yürütülen örneklem yapı tarihi miras değerinde oluşacak etki incelemesi (K4) tüm yıllarda ortak kabul edilmekte ve kararlaştırılan puanlar tüm yıllarda sabit tutulmaktadır. İlgili bölümde açıklamaları ile verilen değerlendirme sonucunda yapının tarihi kimliğine en az etki edecek paket olarak Paket 1 kabul edilmekte ve en yüksek puanı almaktadır. Ardından etki değerlendirmesinde Paket 3 ortalama değeri (2) almakta, yapının tarihi kimliğine en çok müdahil olacak paket kararı Paket 2 olarak netleştirilerek, en düşük puanı (1) almaktadır.

Son değerlendirme kriteri (K5) olan geri ödeme süresi de K4 gibi paket bazlı hesaplanmakta ve tüm yıllarda sabit tutulmaktadır. Kriter incelemesinin yapıldığı bölümde, toplam maaliyet ve yıllık kazanç oranlaması paylaşılmakta ve paketlerin amorti süreleri sunulmaktadır. Elde edilen geri ödeme sürelerine göre ödeme planı en kısa çıkan paket, birinci paket olmakta ve tüm yıllarda 3 puan değeri sabit tutulmaktadır. Paket 2 için 2 puan ve Paket 3 için 1 puan söz konusudur. Tüm kriter değerlendirmeleri ve senaryolara ait puan değerleri Tablo 4.42.'de paylaşılmakta olup, puantaj sistemi sonucu senaryolara ait toplam puan yorumlamaları değerlendirme bölümünde tartışılmaktadır.

4.6.2. Değerlendirme Bulguları

Tüm senaryoların kriterlere yönelik değerlendirmeleri üst bölümlerde madde madde aktarılmakta olup mevcut bölüm, senaryolara ait genel değerlendirmeyi ele almaktadır. Genel değerlendirme tablosu; yıllık enerji tüketimi, karbon emisyonu, ısıl konfor, miras değeri, geri ödeme planı olmak üzere 5 kriterin de incelenmesi sonucu elde edilen puanı göstermekte ve böylece her bir senaryonun tüm kapsamı ile değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Tablo 4.42.'deki puantaj sisteminin toplam değerleri ele alınmakta ve bu toplam puan değerlerine göre her bir senaryo 6 farklı değerlendirme içeriğinde yorumlanmaktadır. Değerlendirme tasarısının detaylı anlatıldığı bölümde sunulduğu gibi Değerlendirme 1-2-3, müdahale paketlerinin farklı yıllardaki performanslarını yorumlamakta, Değerlendirme 4-5-6 ise aynı yıl içerisindeki farklı paket performanslarını yorumlamaktadır. Değerlendirme basamaklarına geçmeden önce Tablo 4.42'de sunulan puantaj sisteminin sonuç tablosu Tablo 4.43. ile sunulmakta ve alt bölümlerdeki tüm değerlendirme bulguları Tablo 4.43. üzerinde belirtilen değerlendirme kodları (D1-D6) çerçevesine uygun ilerletilmekte ve bulguları paylaşılmaktadır.

Tablo 4.43. Senaryolara ait genel puan tablosu

	D4	D5	D6	
Yıllar	Paket 1	Paket 2	Paket 3	
2023	12	10	8	D1
2050	11	11	7	D2
2080	11	9	9	D3

Öncelikle Tablo 4.43.'da görüldüğü gibi 2023 yılındaki tüm paketlere ait toplam puan 30 iken 2050 ve 2080 yıllarında 29 olarak hesaplanmaktadır. Bunun sebebi, ısıl konfor incelemesinde Paket 1 ve Paket 2 sonuç değerlerinin aynı çıkmasıdır. Bu durum değerlendirmeyi etkilemeyecek olsa da veri sunumunda hata şüphesinin önüne geçmek adına açıklık getirilmektedir.

4.6.2.1. D1 Kodlu Değerlendirme Bulguları

D1 kodlu değerlendirme, baz modelin 2023 yılı iklimindeki müdahale etkilerini sunmakta ve paketler arası etki farkını yorumlamaktadır. Tüm kriterler çerçevesinde oluşturulan puantaj sisteminde Paket 1'in 2023 yılındaki toplam puanı 12 iken Paket 2'nin 10 ve Paket 3'ün 8'dir. 2023 yılında en etkin değerlendirme çıktısında Paket 1

gözlenmektedir. Birinci paket müdahaleleri, tarihi yapının miras değerinin korunmasında (K4) paketler içerisindeki en uygun içeriğe sahip olmakla birlikte maaliyet anlamında (K5) da en düşük değere sahiptir (Tablo 4.44.). Bu iki kriterden alınan yüksek puan etkisi ile 2023 yılının en etkin paketi olmaktadır. Mevcut çalışmanın tarihi yapı üzerinde bir araştırma sürmesi dolayısıyla tüm değerlendirmelerde miras değeri kriteri etkisi gözetilerek son sunum yapılmaktadır.

Tablo 4.44. D1 değerlendirmesine ait puantaj tablosu

D1	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
2023	Paket 1	1	2	3	3	3	6	12
	Paket 2	3	3	1	1	2	7	10
	Paket 3	2	1	2	2	1	5	8

2023 yılı için Paket 1’den sonra etkin sonuç sıralamasında Paket 2 yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı paket, yıllık enerji tüketimi (K1) ve karbon emisyonunda (K2) 2023 yılı için en etkin paket olup, K4 ve K5 değerlendirmesinde en düşük değere sahip olması dolayısıyla 2023 yılı için etkinlik sıralamasında ikinci olmaktadır. Kriter değerlendirmeleri sonucu 2023 yılı için en düşük değer sonucu Paket 3’e aittir. Bunun sebepleri arasında maaliyet kaynaklı geri ödeme süresinin yüksek olması ve karbon emisyonu verisi etkin olmaktadır (Tablo 4.42.).

D1 değerlendirmesine göre 2023 yılında tarihi yapı kapsamında en etkin çıktı Paket 1 ile sağlanmaktadır. Müdahale içeriklerinin maaliyeti kaynaklı, mevcut yıl için inovatif müdahale içeriğine sahip Paket 3 çıktısı tam kapsamlı (K1-K2-K3-K4-K5) değerlendirmede zayıf etki göstermektedir (Tablo 4.44.).

4.6.2.2. D2 Kodlu Değerlendirme Bulguları

2050 yıl iklim kapsamında yürütülen paket değerlendirmesinde Paket 1 ve Paket 2 toplam kriter puanları eşit bulunmaktadır. İki paketin toplam değerleri eşit olmasına rağmen ikisinin de değerlendirme kriterlerindeki güçlü yönleri birbirinden farklıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile Paket 2, yıllık enerji tüketimi (K1) ve karbon emisyonunda etkin iken Paket 1 miras değeri (K4) ve geri ödeme süresi (K5) kriterlerinde etkinlik göstermektedir (Tablo 4.45.). Bu durumda, tüm kriterler

çerçevesindeki değerlendirme sonucunda 2050 yılı için etki gücü en yüksek olarak bahsedilebilecek 2 paket bulunmaktadır (Tablo 4.45.). Enerji, karbon ve konfor değerlendirmesinde ise Paket 1 en düşük puana sahip iken Paket 2 en yüksek puandadır.

Tablo 4.45. D2 değerlendirmesine ait puantaj tablosu

D2	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
2050	Paket 1	1	2	2	3	3	5	11
	Paket 2	3	3	2	1	2	8	11
	Paket 3	2	1	1	2	1	4	7

Paket 3 'e ait kriter toplam değeri 7 olup, 2050 ve tüm yıl sonuçları içerisindeki en düşük puan değerini göstermektedir. Değerlendirmeye dahil olan beş kriterin hiçbirinde 3 puan almayan paket, 2050 yılı ikliminde zayıf bir çıktı sunmaktadır (Tablo 4.42., Tablo 4.45.).

4.6.2.3. D3 Kodlu Değerlendirme Bulguları

D3 değerlendirmesi kapsamında 2080 iklimindeki müdahale paketlerinin etki incelemesinde tüm kriter toplamında en etkin paket sonucu Paket 1'e aittir. Paket 1 için daha önceki değerlendirme sonuçlarında bahsedildiği gibi miras değeri ve geri ödeme süresi kriterlerinin baskınlığı söz konusu olup, tüm yıl değerlendirmelerinde en etkin sonuç sunmaktadır. Tarihi yapıda uygulanacak bir müdahalede miras değeri kriteri yadsınamaz bir kriterdir. Bu nedenle sonuçlar tüm değerlendirmelerde topla kriterler üzerinden yürütülmekte ve değerlendirme yorumları içerisinde kriter içeriklerine göre uygunluk belirtilmektedir. Paket 1, mevcut değerlendirme tablosunda en etkin paket olarak görünse de detaylı kriter incelemesinde (Tablo 4.46.) görüldüğü gibi yıllık toplam enerji içeriğinde en yüksek tüketim ile en düşük puana sahiptir. Toplam değerlendirmede en yüksek puana sahip olan Paket 1; enerji, karbon ve konfor değerlendirmesinde en düşük puana sahiptir.

Tablo 4.46. D3 değerlendirmesine ait puanaj tablosu

D3	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
2080	Paket 1	1	2	2	3	3	5	11
	Paket 2	3	1	2	1	2	6	9
	Paket 3	2	3	1	2	1	6	9

Paket 2 ve Paket 3 birbirlerine denk sonuç sunmaktadır. Yıllık enerji tüketiminde Paket 2 daha etkin iken karbon emisyonunda Paket 3 daha etkindir. Tarihi miras kriterine göre ise Paket 3 Paket 2'ye göre daha uygulanabilir bulunmaktadır. Farklı kriterlerdeki baskınlıkları söz konusu olsa da kriter toplamında her iki paket aynı değer çıktısını sunmaktadır.

4.6.2.4. D4 Kodlu Değerlendirme Bulguları

D4 kodlu değerlendirme, birinci müdahale paketinin (Paket 1) tüm yıl iklimlerince incelemesini sunmaktadır. Sunulan değerlendirme tabloları önceki tablo sunumlarında olduğu gibi enerji, karbon, konfor toplam puanlarını ve tüm kriter toplamalarını birlikte vermekte ve yorumlamaları iki ölçek üzerinden de gerçekleştirmektedir. İki ölçek yorumu belirtilmesine rağmen paket ve yıl kombinasyonlarına ait son yorumlar, tarihi yapı dikkatine uygun toplam kriter puanı üzerindendir.

Tablo 4.47. D4 değerlendirmesine ait puanaj tablosu

D4	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
Paket 1	2023	1	2	3	3	3	6	12
	2050	1	2	2	3	3	5	11
	2080	1	2	2	3	3	5	11

Paket 1'in en etkin yıl değerlendirmesinde 2023 yılı diğer yıllara göre daha yüksek puan sunmaktadır. 2023 yıl ikliminde toplam kriter puanı 12 iken 2050 ve 2080 yıllarında 11 puan hesaplaması yapılmaktadır. Yüksek bir puan farkı olmaması ve her yıl kriter değerlendirmelerinin benzer sonuçlar sunmasına rağmen ısı konfor kriterinde 2023 yılı değerlendirmesindeki farka göre etkinlik sırası Tablo 4.47.'teki gibidir. Paket 1 genel

değerlendirmesinde tüm yıllardaki en yüksek puanlar, miras değeri ve geri ödeme süresi kriterlerindedir.

4.6.2.5. D5 Kodlu Değerlendirme Bulguları

D5 değerlendirmesi Paket 2'nin farklı yıl iklim çıktılarını sunmakta ve paketin etkin çıktı sunan iklim yorumlamasına olanak tanımaktadır. Paket2'nin kriter toplam puanına göre 2023 yılında 10, 2050 yılında 11, 2080 yılında 9 puan hesabı söz konusudur. Farklı yıl iklimlerinde etkinlik sıralaması tüm yıllarda benzer iken K3 kodlu ısı konfor kriterinin 2050 yılı iklimindeki K2 kodlu karbon emisyonunun 2080 yılı iklimindeki farkı paket değerlendirmesinde 2050 yılı toplamını artırmaktadır.

Tablo 4.48. D5 değerlendirmesine ait puantaj tablosu

D5	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
Paket 2	2023	3	3	1	1	2	7	10
	2050	3	3	2	1	2	8	11
	2080	3	1	2	1	2	6	9

Yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren paketin karbon emisyonu 2023 ve 2050 yıllarında en üst puanda iken 2080 yılı ikliminde en düşük puan değerine sahiptir. Mevcut durum değişen iklim şartlarınca yorumlanabilmekte ve ilerleyen yıllar için yürütülen tahminler gereğince sonuç sunmaktadır. Pakete ait toplam kriter puan sıralamasının 2023 yılından farklı olarak 2050 yılında ilk sırada olması, 2050 ikliminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının günümüz literatüründe sıkça gözlenen müdahalelerden daha etkin sonuçlar sunacağı sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 4.48.). Bu durum, ileriye yönelik planlanan müdahale seçiminde sürdürülebilirlik kaygısını ön plana çıkarmakta ve ilerleyen yıllar için uygun paket seçiminde yol gösterici olmaktadır.

4.6.2.6. D6 Kodlu Değerlendirme Bulguları

İnovatif ve yenilikçi malzemelerin kullanıldığı üçüncü paketin (Paket 3) farklı yıllardaki etki gücüne dair yorum imkanı sunan Tablo 4.49.'e göre paketin en etkin sonuç sunduğu yıl 2080'dir. Paketin tüm kriterler doğrultusundaki puan sıralaması 2080, 2023,

2050 şeklindedir. Paketin yıllar içerisindeki farkı, karbon emisyonu (K2) ve ısı konfor (K3) kriterleri kaynaklıdır.

Tablo 4.49. D6 değerlendirmesine ait puanaj tablosu

D6	Paketler	K1	K2	K3	K4	K5	K1+K2+K3	Toplam
Değerlendirmesi								(K1-K5)
Paket 3	2023	2	1	2	2	1	5	8
	2050	2	1	1	2	1	4	7
	2080	2	3	1	2	1	6	9

Paket 3 uygulamasının ısı konfor değerlendirmesinde en iyi sonuç 2023 yılı ikliminde sağlanmaktadır. 2050 ve 2080 yıllarında ise yapıdaki iç mekan ısı konforu üç paket kıyasında en düşük performansa sahiptir. Karbon emisyon değerlendirmesinin yapıldığı K2 kriterine göre ise 2023 ve 2050 yıllarında üç paket içerisindeki en yüksek tüketimi ile en düşük puana sahipken 2080 yılı ikliminde en düşük karbon emisyonu gözlenmektedir. Pakete yönelik yapılan genel değerlendirmeye göre paketin en etkin sonuç sunacağı iklim 2080 yılı iklimidir (Tablo 4.49.).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji tüketiminin artması; hızlı iklim değişimi ile beraberinde gelen deniz seviyesinde yükselme, kuraklık, kimi canlı türlerinin yok olması gibi tüm dünyayı etkisi altına alan ciddi çevre problemlerine sebep olmaktadır. Mevcut krize dair etkilerin günümüz dünyasında hissediliyor olması ve gelecek olası ihtimallerin yıkıcılığı, enerji tüketiminde müdahale gerekliliğini ortaya çıkarmakta, buna yönelik hedef ve stratejileri zorunlu kılmaktadır. Ülkelerce geliştirilen enerji planları kapsamının önemli bir basamağında inşaat sektörü kaynaklı enerji tüketimleri yer almaktadır. Bina kullanımlarında açığa çıkan enerji tüketimlerinin düşürülmesinde bina enerji performans iyileştirmeleri gündeme gelmektedir.

Mevcut tez, tarihi yapı ve enerji performans iyileştirmesi anahtar kelimelerini birlikte ele almakta ve disiplinler arası bir çalışma örneği sunmaktadır. Aynı zamanda enerji performans çalışmaları kapsamındaki güncel literatüre, gelecek iklim şartlarındaki performans sorgusunu dahil etmektedir. Bu sorgulama gereğince, çalışmada uygulanacak müdahalelerin gelecek yıl iklimlerindeki enerji performans araştırmaları, tüm konsept paketler için 2023, 2050, 2080 yıl iklimlerinde ayrı olarak değerlendirilmekte ve senaryo çıktıları birbirleri ile karşılaştırılmaktadır.

Müdahale paketi sürdürülebilirliği çalışma içerisinde, yıllık toplam enerji tüketimi (K1), karbon emisyonu (K2), ısı konfor (K3), miras değeri (K4) ve geri ödeme süresi (K5) olmak üzere beş kriter çerçevesinde incelenmektedir. Senaryoların kriterler çerçevesinde incelemesi ile paketlerin yıllar içerisindeki potansiyelleri ve aynı yıl içerisindeki paketlere dair performans incelemeleri değerlendirmeye alınmaktadır. Uygulanan değerlendirmede kullanılan puantaj sistemi, senaryolara dair yapılan yorumları nicel veriler ile desteklemektedir. Birden çok kriter kullanımı, özellikle tarihi bir yapıya uygulanacak müdahale analizinin çok yönlü incelemesini sağlamak ve uygulanacak müdahaleleri, kapsamı geniş bir perspektifte ele almaktadır. Böylelikle çok kriterli değerlendirme, öneri sunulan bir kültürel miras yapısı için birden fazla sonuç cümlesi barındırmaktadır.

Değerlendirme çıktılarındaki, miras değeri ve geri ödeme süresi kriterlerinin paket performans sonuçlarındaki etki gücü yüksektir bu nedenle enerji performans değerlendirmesi (K1-K2-K3) ile toplam kriter değerlendirmesindeki (K1-K2-K3-K4-K5) paket sıralamalarında farklılıklar gözlenmektedir. Paketlerin gelecek yıl iklimlerindeki

performans çıktıları hem bina enerji performansı hem de bir kültürel miras yapısı için uygunluğu kapsamında yorumlanmakta olup tezin senaryolara ait son cümleleri, bir kültürel miras yapısının enerji performansı kapsamında kurgulanmaktadır.

Mevcut literatürde uygulama örneklerine sıklıkla rastlanan müdahale içeriğine sahip paket 1'in en etkin performansı 2023 yılı ikliminde gözlenmektedir. Ele alınan tüm yıl iklimlerinde baz model enerji tüketimine etkisi paketler arası sıralamada minimum değerde olmasına rağmen kültürel miras yapısı için uygulanabilir müdahale içeriği ve toplam maliyete yönelik geri ödeme süresinin düşük olması dolayısıyla tüm yıllarda maksimum toplam kriter puanına sahip müdahale paketi niteliği taşımaktadır. Paket 1 'e ait enerji performans etkinliği, ileriki yıl iklimlerinde günümüz iklimine kıyasla daha düşük olmakla birlikte gelecek yıl enerji performans iyileştirmelerinde zayıf müdahale çıktısı sunacağı görülmektedir. 2023 yılından 2080 yılına doğru paket müdahaleleri sonrası bina yıllık enerji tüketimindeki azalma oranı düşmektedir. Bu durumda, kültürel miras yapısına müdahale uygunluğu yüksek olmasına rağmen gelecek enerji iyileştirmelerindeki performans düşüklüğü gözetilerek mevcut pakete ait maliyet harcamaları sürdürülebilir kaygı oluşturabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının müdahale içeriğine dahil olduğu Paket 2 senaryo çıktılarına göre, bina enerji değerlendirmesi kapsamında (K1-K2-K3) tüm yıllarda etkin performans gözlenmektedir. İncelemeye alınan tüm yıllar için baz model enerji tüketiminde maksimum kazanç söz konusudur. Yıllık kazanç karşılaştırmasına göre paket 2 müdahalelerinin en iyi sonuç verdiği iklim 2050 yılına ait iken paket içi en düşük performans 2080 yılında sergilenmektedir. Paketler arası karşılaştırmada farklı yıl iklimine adaptasyon noktasında en iyi sonuç veren paket olup, enerji performans değerlendirmesinde tüm yıllarda maksimum puana sahiptir. Paket 2 müdahaleleri içerisinde yer alan PV panel uygulamalarının kültürel miras yapısında oluşturacağı kimlik kaygısı ve panel uygulamalarına ait maliyet yüksekliği mevcut paketin toplam kriter puanını düşürmektedir. Bu sebeple kültürel miras yapısında sürdürülebilir enerji performans potansiyeli, mevcut paket uygulamasında etkin bulunmamaktadır. Enerji performansında sağlanan maksimum faydanın değerlendirmeye alınan tüm kriterlerce onayı ve tarihi yapıda uygulanabilirliği için yenilenebilir enerji kaynaklarında tarihi yapıya uygun görsel dikkat ve ekipman maliyetinde düzenleme gerekmektedir. Kültürel miras yapılarında kullanılabilirlik, mevcut yapıya uygun görseleliğe sahip panel

boyutlandırması ve tarihi yapıya uygun malzeme üretimi ile mümkündür. Böylelikle, paket 2'ye ait genel değerlendirme güçlendirilebilir, gelecek yıllar için sürdürülebilir performans öngörülü paket eldesi sağlanabilmektedir. Tarihi yapıya uygun yenilenebilir enerji kaynakları başlığı ile müdahalelerin uygulanabilirliği, uygulayıcılar, kurul üyeleri ve tüm denetim paydaşları tarafından olanaklı duruma getirilmelidir.

İnovatif, yenilikçi malzeme kullanımı ve bu malzemelerin yapı enerji performansına katkısı gelecek yıl iklim şartlarında daha etkin sonuç sunmakta, yapı enerji tüketimi ve karbon emisyonunda daha yüksek kazanç sağlamaktadır. 2023 ve 2050 yıllarında gerçekleştirilen paketler arası değerlendirmede, mevcut paket en düşük puana sahip iken 2080 yılı ikliminde en yüksek enerji performans iyileştirmesi sağlamaktadır. Paket 2 müdahalelerine ait maliyet ve amorti süre hesabına göre tüm paketler arasında en uzun ödeme süresi ve böylelikle en düşük kriter puanına sahiptir. Paket 3'ün 2080 iklim şartlarına uygunluğu ve performans yüksekliği, mevcut müdahale paketinin ilerleyen yıllarda ön plana çıkacak içeriğe sahip olduğunu göstermektedir.

Mevcut tez, ülkeler bazında gerçekleştirilen enerji tüketiminde iyileşme hedeflerine destek konu kapsamı ve vaka çalışması sunmaktadır. Farklı senaryo sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji kaynakları ve inovatif malzeme kurgusunun gelecek yıllar için uygunluğu tespit edilmekte ve mevcut tez verilerinin gelecek iyileştirme müdahale tasarılarına altlık sunacağı öngörülmektedir. Günümüz literatüründe yaygın kullanılan müdahale içeriklerinin ilerleyen yıl iklimine adaptasyonundaki düşük performansı, yeni literatürde yapılacak enerji performans çalışmalarındaki müdahale tasarılarının geliştirilmesini, yenilenebilir kaynak ve inovatif malzeme kullanımının daha uygulanabilir duruma getirilmesi gerekliliğini öne sürmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelrady, A., Abdelhafez, M.H.H. ve Ragab, A. (2021). Use of Insulation Based on Nanomaterials to Improve Energy Efficiency of Residential Buildings in a Hot Desert Climate. *Sustainability*, 13/9, 1-17.
- Abushakra, B. ve Paulus, M.T. (2016). 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.
- Ahmed T.M.F., Rajagopalan P. ve Fuller R. (2017). Experimental validation of an energy model of a day surgery/procedure centre in Victoria, *Journal of Building Engineering*, 10, 1-12.
- Ahunbay, Z. (2010). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*. İstanbul: YEM Kitabevi.
- 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. (2020). Dynamic thermal and hygrometric simulation of historical buildings: Critical factors and possible solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 1-17.
- Akpahou, R., Mensah, L.D., Quansah, D. A., Kemausuor, F. (2024). Energy planning and modeling tools for sustainable development: A systematic literature review. *Energy Reports*, 11, s. 830-845.
- Al-Habaibeh, A., Hawas, A., Hamadeh, L., Medjdoub, B., Marsh, J., Sen, A. (2022). Enhancing the sustainability and energy conservation in heritage buildings: The case of Nottingham Playhouse. *Frontiers of Architectural Research*, 11 (1), 142-160.
- Alongi, A., Scoccia, R., Motta, M., Mazzarella, L. (2015). Numerical investigation of the Castle of Zena energy needs and a feasibility study for the implementation of electric and gas driven heat pump. *Energy and Buildings*, 95, 32-38.
- Al-Saadi S.N. (2021). 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.
- Alshuhail K. ve Taleb H. (2020). Thermal performance and experimental assessment of building orientations in the United Arab Emirates (UAE), *Science and Technology for the Built Environment*, 0, 1-29.
- ANSI/ASHRAE Guideline 14. (2002). *Measurement of Energy and Demand Savings*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ANSI/ASHRAE/IESNA Addenda. (2007). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, GA.

- ANSI/ASHRAE Standart 55. (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA.
- ANSI/ASHRAE Standart 55. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA.
- ASHRAE Guideline 34. (2019) *Energy Guideline for Historic Buildings*. <https://www.ashrae.org/about/news/2019/ashrae-publishes-new-guideline-on-energy-efficiency-for-historic-buildings> (Erişim tarihi: 27.10.2023)
- Angelotti, A., Martire, M., Mazzarella, L., Pasini, M., Ballarini, I., Corrado, V., De Luca, G., Baggio, P., Prada, A., Bosco, F., Cornaro, C. (2018). Building Energy Simulation For Nearly Zero Energy Retrofit Design: The Model Calibration, 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)'ta sunulan bildiri. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8493777>. (Erişim tarihi: 27.10.23).
- Arsan, Z.D. ve Sökmek, N. (2010). 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, Austria: Vienna University of Technology, 196-197.
- Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R.F., de' Rossi, F., Vanoli, G.P. (2015). Energy retrofit of an educational building in the ancient center of Benevento. Feasibility study of energy savings and respect of the historical value. *Energy and Buildings*, 95, 172-183.
- Aspen/Aerogels, Spaceloft. Thin, High-Performance Thermal Insulation for New and Retrofit Building Applications. Northborough: Massachusetts. <https://www.aerogel.com/product/spaceloft/> (Erişim tarihi: 21.07.2023)
- Aste, N., Torre, S.T., Adhikari, R.S., Buzzetti, M., Pero, C.D., Leonforte, F., Manfren, M. (2016). Sustainable church heating: The Basilica di Collemaggio case-study. *Energy and Buildings*, 116, 218-231.
- Atmaca İ. ve Yiğit A. (2009). Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 543-555.
- Attia, S. (2010). *Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey*. Belgium: Research Based Report.
- Attia, S., Kurnitski, J., Kosiński, P., Borodinecs, A., Belafi, Z.D., István, K., Krstić, H., Moldovan, M., Visa, I., Mihailov, N., Evstatiev, B., Banionis, K., Čekon, M., Vilčeková, S., Struhala, K., Brzoń, R., Laurent, O. (2022). Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe. *Energy and Buildings*, 267
- Aydın, R. (2017). Eskişehir Alâeddin Camisi'nin Onarılmasına Dair Girişimler (1878-1886). *Mediterranean Journal of Humanities*, 7/2, 47-60.

- Baker, P. (2011). *U-values and traditional buildings, in situ measurements and their comparisons to calculated values. Technical Paper 10*. Edinburgh: Historic Scotland.
- Balaras, C.A., Dascalaki, E.G., Drousa, K.G., Kontoyiannidis, S. (2016). Empirical assessment of calculated and actual heating energy use in Hellenic residential buildings. *Applied Energy*, 164, 115–132.
- Bellia, L., Alfano, F.R.A., Giordano, J., Ianniello, E., Riccio, G. (2015). Energy requalification of a historical building: A case study. *Energy and Buildings*, 95, 184-189.
- Ben, H. ve Steemers, K. (2014). Energy retrofit and occupant behaviour in protected housing: A case study of the Brunswick Centre in London. *Energy and Buildings*, s. 1-37.
- Berardi, U. (2018). Aerogel-enhanced systems for building energy retrofits: Insights from a case study. *Energy and Buildings*, 159, 370-381.
- Bertagnolio, S., Randaxhe, F., Lemort, V. (2012). Evidence-based calibration of a building energy simulation model: Application to an office building in Belgium. *International Conference for Enhanced Building Operations ICEBO 2012*, Manchester.
- Biddulph, P., Gori, V., Elwell, C.A., Scott, C., Rye, C., Lowe, R., Oreszczyn, T. (2014). Inferring the thermal resistance and effective thermal mass of a wall using frequent temperature and heat flux measurements, *Energy and Buildings*, 78, 1-16.
- Blecich, P., Frankovic, M., Kristl, Z. (2016). Energy retrofit of the Krsan Castle: From sustainable to responsible design—A case study. *Energy and Buildings*, 122, 23-33.
- BSI Standards Development. (2017). BS EN 16883:2017 Conservation of cultural heritage. Guidelines for improving the energy performance of historic buildings. <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/2015-00751>
- Bughrara, K.S.M., Durmuş Arsan, Z., Akkurt, G.G. (2017). Applying underfloor heating system for improvement of thermal comfort in historic mosques: the case study of Salepçioğlu Mosque, Izmir, Turkey. *Energy Procedia*, 133, 290-299.
- Carmody, J., Selkowitz, S., Lee, E. S., Arasteh, D. (2004). *Window Systems for High-Performance Buildings*. New York: Norton Professional Books.
- Caro, R. ve Jose Sendra, J. (2020). Evaluation of indoor environment and energy performance of dwellings in heritage buildings. The case of hot summers in historic cities in Mediterranean Europe. *Sustainable Cities and Society*, 52, 1-19.
- Caruso, M., Couto, R., Pinho, R., Monteiro, R. (2023). Decision-making approaches for optimal seismic/energy integrated retrofitting of existing buildings. *Frontiers in Build Environment*, 9, 1-12.

- Chae, Y. ve Kim, S.H. (2022). Selection of retrofit measures for reasonable energy and hygrothermal performances of modern heritage building under dry cold and hot humid climate: A case of modern heritage school in Korea. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36, 1-15.
- Cho, H.M., Yang, S., Wi, S., Chang, S.J., Kim, S. (2020). Hygrothermal and energy retrofit planning of masonry façade historic building used as museum and office: A cultural properties case study. *Energy*, 201, 1-15.
- Cho H., Yun B.Y., Kim Y.U., Yuk H., Kim S. (2020). 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.
- Cho H., Yun B.Y., Yang S., Wi S., Chang S., Kim S. (2020). Optimal energy retrofit plan for conservation and sustainable use of historic campus building: Case of cultural property building, *Applied Energy*, 275, 1-12.
- Ciulla, G., Galatioto, A., Ricciu, R. (2016). Energy and economic analysis and feasibility of retrofit actions in Italian residential historical buildings. *Energy and Buildings*, 128, s. 649-659.
- Coelho, G.B.A., Silva, H.E., Henriques, F.M.A. (2018). Calibrated hygrothermal simulation models for historical buildings, *Building and Environment*, 142, 439-450.
- Cornaro, C., Bosco, F., Lauria, M., Puggioni, V.D., De Santoli, L. (2019). Effectiveness of Automatic and Manual Calibration of an Office Building Energy Model. *Applied Sciences*, 9, s. 1-29.
- Coşkun, S., Öztıp, H. (2016). Farklı Kullanım Alanlarının Aydınlatılması Verimlilik ve Temel İlkeler. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-dergisi*, 1(1). <https://avesis.hacettepe.edu.tr/yayin/ef2ee0f0-663a-4785-a888-27b796757674/farkli-kullanim-alanlarinin-aydinlatilmasi-verimlilik-ve-temel-ilkeler>. (Erişim Adresi: 04.06.23)
- Darçın, P. ve Balanlı, A. (2012). Yapılarda Doğal Havalandırmanın Sağlanmasına Yönelik İlkeler. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 128, 33-42.
- Darhmaoui, H. ve Lahjouji, D. (2013). Latitude based model for tilt angle optimization for solar collectors in the Mediterranean region. *Energy Procedia*, 42, 426–435.
- Del Curto, D. ve Cinieri, V. (2020). Aerogel-Based Plasters and Energy Efficiency of Historic Buildings. Literature Review and Guidelines for Manufacturing Specimens Destined for Thermal Tests. *Sustainability*, 12(22), 9457, 1-23.
- DesignBuilder. <https://designbuilder.co.uk/> (Erişim Tarihi: 10.04.2023)

- Desogus, G., Mura, S., Ricciu, R. (2011). Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance. *Energy and Buildings*, 43, 10, 2613-2620.
- Enerji Verimliliği Kanunu-5627 No'lu. (2007).
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5627.pdf> (Erişim tarihi: 27.11.2023)
- EPDK. Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları.
<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-1/tarifeler> (Erişim tarihi: 07.11.2023)
- Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü. *Restitüsyon raporu*.
- Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü. *Proje arşivi*
- Eskişehir Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü (2013). *Restorasyon raporu*.
- EN ISO 7730. (2005). *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*.
- Fanger P.O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30, 313-324.
- Fard, F.A. ve Nasiri, F. (2020). A bi-objective optimization approach for selection of passive energy alternatives in retrofit projects under cost uncertainty. *Energy and Built Environment*, 1(1), 77-86.
- Ferrari, S. ve Riva, A. (2019). Insulating a Solid Brick Wall from Inside: Heat and Moisture Transfer Analysis of Different Options. *Journal of Architectural Engineering*, 25(1).
- Franceschini, P.B. ve Neves, L.O. (2022). A critical review on occupant behaviour modelling for building performance simulation of naturally ventilated school buildings and potential changes due to the COVID-19 pandemic. *Energy & Buildings*, 258, 1-16.
- 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. (2015). Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions, *Building Research & Information*, 43:2, 238-252.
- Franco, G., Magrini, A., Cartesegna, M., Guerrini, M. (2015). Towards a systematic approach for energy refurbishment of historical buildings. The case study of Albergo dei Poveri in Genoa, Italy. *Energy and Buildings*, 95, 135-159.
- Ganesh A.G., Sinha S.L., Verma T.N. (2021). Dewangan S.K., Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review, *Building and Environment*, 204, 1-16.

- Ganobjak, M. ve Kralova, E. (2017). *Impact Verification of Aerogel Insulation Paint on Historic Brick Facades*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/245/8/082021>.
- Gonçalves J., Mateus R., Silvestre J.D., Roders A.P. (2020). Going beyond good intentions for the sustainable conservation of built heritage: A systematic literature review, *Sustainability*, 12 (22), 1-28.
- Gonzalez, C.M.M., Rodriguez, A.L.L., Medina, R.S., Jaramillo, J.R. (2020). Effects of future climate change on the preservation of artworks, thermal comfort and energy consumption in historic buildings. *Applied Energy*, 276, 1-12.
- Gonzalez-Prieto, D., Fernandez-Nava, Y., Maranon, E., Prieto, M.M. (2021). Environmental life cycle assessment based on the retrofitting of a twentieth-century heritage building in Spain, with electricity decarbonization scenarios. *Building Research & Information*, 49(8), 859-877.
- Gonzales-Torres M., Perez-Lombard L., Coronel J.F., Maestre I.R., Yan D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers, *Energy Reports*, 8, 626-637.
- Gourlis, G. ve Kovacic, I. (2016). A study on building performance analysis for energy retrofit of existing industrial facilities. *Applied Energy*, 184, 1389-1399.
- Gremmelspacher, J.M., Pizarro, R.C., Jaarsveld, M., Davidsson, H., Johansson, D. (2021). Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden. *Solar Energy*, 223, 248-260.
- Guan, L., Berrill, T., Brown, R.J. (2015). Measurement of actual efficacy of compact fluorescent lamps (CFLs). *Energy and Buildings*, 86, 601-607.
- Güçyeter B., Günaydın H.M. (2012). Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building. *Energy and Buildings*, 55, 647-659.
- Güçyeter B., Alptekin O., Ünver H. (2023). Bilimsel Araştırma Projesi sonuç raporu , Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Günaydın M., Genç A.F., Altunışık A.C., Hacıfendioğlu K., Okur F.Y., Okur E., Adanur, S. (2022). Structural condition assessment of a historical masonry school building using experimental and numerical methods, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 12, 1083-1113.
- Günther, E., Bichlmair, S., Latz, S., Fricke, M. (2020). Internal wall insulation with a new aerogel panel: SLENTITE ® for energetic retrofit in historic buildings. *E3S Web of Conferences*.
https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/32/e3sconf_nsb2020_01006/e3sconf_nsb2020_01006.html
- Habibi, S., Obonyo, E.A., Memari, A.M. (2020). Design and development of energy efficient re-roofing solutions. *Renewable Energy*, 151, s. 1209-1219.

- Havinga L., Colenbrander B., Schellen H. (2020). Heritage significance and the identification of attributes to preserve in a sustainable refurbishment, *Journal of Cultural Heritage*, 43, 282-293.
- Harputlugil Ulukavak, G. (2014). Bina Enerji Performansı Değerlendirme Araçları Enerji Simülasyonu. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 144, s.23-32.
- Harrestrup, M. ve Svendsen, S. (2015). Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture. *Building and Environment*, 85, 123-133.
- Hong, T., Chen, Y., Belafi, Z., D'Oca, S. (2018). Occupant behavior models: A critical review of implementation and representation approaches in building performance simulation programs. *Building Simulation*, 11, 1-14.
- ICOMOS (2011). Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas. <https://civvih.icomos.org/wp-content/uploads/2022/03/Valletta-Principles-GA- EN FR 28 11 2011.pdf> (Erişim tarihi: 27.11.2023)
- ICOMOS, ISCES – International Scientific Committee on Energy and Sustainability. (2012). <https://isces.icomos.org/> (Erişim tarihi: 23.11.2023)
- 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. (Erişim tarihi: 27.07.2022).
- Ibrahim, H.S.S., Khan, A.Z., Serag, Y., Attia, S. (2021). Towards Nearly-Zero Energy in Heritage Residential Buildings Retrofitting in Hot, Dry Climates. *Sustainability*, 13(24), 1-36.
- IPMVP (2002). International Performance Measurement & Verification Protocol— Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31505.pdf>
- Jelinčić D.A., Glivetić D. (2016). Cultural heritage and sustainability, Project coordinator: INORDE – Institute for Economic Development of Ourense Province, Spain.
- Jiang, W., Hu, H., Tang, X., Liu, G., Guo, W., Jin, Y., Li, D. (2022). Protective energy-saving retrofits of rammed earth heritage buildings using multi-objective optimization. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38, 1-14.
- Joppolo, C.M., Del Curto, D., Luciani, A., Valisi, L., Bellebono, M. (2017). Keeping it modern, making it sustainable. Monitoring and energy retrofitting the Urbino University Colleges. *Energy Procedia*, 133, 243-256.
- Katsaprakakis, D.A., Georgila, K., Zidianakis, G., Michopoulos, A., Psarras, N., Christakis, D., Condaxakis, C., Kanouras, S. (2017). Energy upgrading of buildings. A holistic approach for the Natural History Museum of Crete, Greece. *Renewable Energy*, 114 (Part B), s. 1306-1332.

- Khalil, A., Hammouda, N., El-Deeb, K. (2018). Implementing Sustainability in Retrofitting Heritage Buildings. Case Study: Villa Antoniadis, Alexandria, Egypt. *Heritage*, 1(6), s.1-31.
- Köksal, B. (2023). Yapı Malzemelerinin Gömülü Karbon Miktarına Etkisi: Örnek Bir Yapı Üzerinden İnceleme. *Yapı Bilgi Modelleme Dergisi*, 5(1), 14-25.
- Kramer, R.P., Maas, M.P.E., Martens, M.H.J., van Schijndel, A.W.M., Schellen, H.L. (2015). Energy conservation in museums using different setpoint strategies: A case study for a state-of-the-art museum using building simulations. *Applied Energy*, 158, 446-458.
- Kutty, N., Barakat, D., Khoukhi, M. (2023). A French Residential Retrofit toward Achieving Net-Zero Energy Target in a Mediterranean Climate. *Buildings*, 13(3), 833.
- Lingfors, D., Johansson, T., Widen, J., Broström, T. (2019). Target-based visibility assessment on building envelopes: Applications to PV and cultural-heritage values. *Energy and Buildings*, 1-17.
- Litti, G., Audenaert, A., Lavagna, M. (2018). Life cycle operating energy saving from windows retrofitting in heritage buildings accounting for technical performance decay. *Journal of Building Engineering*, 17, 135-153.
- Liu, L., Keoleian, G.A., Saitou, K. (2017). Replacement policy of residential lighting optimized for cost, energy, and greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 12, 1-10.
- Lo Bosso, G., Rosa, F., Garcia, D.A., Cumo, F. (2017). Hybrid systems adoption for lowering historic buildings PFEC (primary fossil energy consumption) - A comparative energy analysis. *Renewable Energy*, 117.
- Lopez, C.S.P., Frontini, F. (2013). Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings. SHC 2013, *International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry*, Eylül 23-25, Almanya: Freiburg.
- Lucchi, E., Becherini, F., Di Tuccio, M.C., Troi, A., Frick, J., Roberti, F., Hermann, C., Fairnington, I., Mezzasalma, G., Pockele, L., Bernardi, A. (2017). Thermal performance evaluation and comfort assessment of advanced aerogel as blown-in insulation for historic buildings. *Building and Environment*, 122, 258-268.
- Lucero-Gomez P., Balliana E., Izzo- Catherina F., Zendri E. (2020). 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.
- Martin-Roberts, E., Scott, V., Flude, S., Johnson, G., Haszeldine, R.S., Gilfillan, S. (2021). Carbon capture and storage at the end of a lost decade. *One Earth Journal*, 4/11, 1569-1584.

- Martins, A.M.T., Carlos, J.S. (2014). The retrofitting of the Bernardas' Convent in Lisbon. *Energy and Buildings*, 68 (Part A), 396-402.
- Marzouk, M., ElSharkawy, M., Mahmoud, A. (2022). Optimizing daylight utilization of flat skylights in heritage buildings. *Journal of Advanced Research*, 37, 133-145.
- Massarotti, N., Mauro, A., Normino, G., Vanoli, L., Verde, C., Allocca, V., Calcaterra, D., Coda, S., De Vita, P., Forzano, C., Palombo, A., Cosenza, P. (2021). Innovative Solutions to Use Ground-Coupled Heat Pumps in Historical Buildings: A Test Case in the City of Napoli, Southern Italy. *Energies*, 14(2), 1-22.
- Meoni A., Vittori F., Piselli C., D'Alessandro A., Pisello A.L., Ubertini F. (2022). Integration of structural performance and human-centric comfort monitoring in historical building information modeling, *Automation in Construction*, 138, 1-17.
- Monetti, V., Davin, E., Fabrizio, E., Andre, P., Filippi, M. (2015). Calibration of building energy simulation models based on optimization: a case study. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, *Energy Procedia*, 78, 2971 – 2976.
- Morag, I., Sonmez, V., Puyvelde, A.V., Pintelon, L. (2024). Improving wayfinding in hospitals for people with diverse needs and abilities: An exploratory approach based on multi-criteria decision making. *Applied Ergonomics*, 114, 1-11.
- Mosquera, M.J., Carrascosa, L.A.M., Badreldin, N. (2018). Producing superhydrophobic /oleophobic coatings on Cultural Heritage building materials. *Pure and Applied Chemistry*, 90 (3), 551-561.
- MSUTODAY. (2021). Power generation you can see through. MSU and Ubiquitous Energy install transparent solar panels on campus. <https://msutoday.msu.edu/news/2021/solar-glass-panels-installed> (Erişim tarihi: 09.10.2023)
- Mukhopadhyay, J., Ore, J., Amende, K. (2019). Assessing housing retrofits in historic districts in Havre Montana. *Energy Reports*, 5, 489-500.
- Nina-Cristina, D., Agachi, M.I.M., Balan, M. (2020). Newness Touches Conventional History: The Research of the Photovoltaic Technology on a Wooden Church Heritage Building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 960, 1-10.
- Nocera, F., Lo Faro, A., Costanzo, V., Raciti, C. (2018). Daylight Performance of Classrooms in a Mediterranean School Heritage Building. *Sustainability*, 10 (10), 1-15.
- Ogando, A., Cid, N., Fernández, M. (2017). Energy Modelling and Automated Calibrations of Ancient Building Simulations: A Case Study of a School in the Northwest of Spain. *Energies*, 10 (6), 1-17.
- Opher, T., Duhamel, M., Posen, I.D., Panesar, D.K., Brugmann, R., Roy, A., Zizzo, R., Sequeira, L., Anvari, A., MacLean, H.L. (2021). Life cycle GHG assessment of a

- building restoration: Case study of a heritage industrial building in Toronto, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-16.
- Ozel, M., Pihlil, K. (2007). Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations, *Building and Environment*, 42(8), 3051-3059.
- Özbalta, T.G., Yıldız, Y., Bayram, İ., Yılmaz, O.C. (2021). Energy performance analysis of a historical building using cost-optimal assessment, *Energy & Buildings*, 250, 1-14.
- Özçelik, M. Y., Koçak Soylu, S., Atmaca, İ. (2017). Endüstriyel bir Tesiste Aerojel ile Yalıtımın Teknik ve Ekonomik Analizi. 13. İzmir: *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 19-22 Nisan 2017.
- Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., Yang, Y., Jia, X., Wang, X., Zeng, F., Huang, S., Hou, D., Xu, L., Yin, R., Yuan, X. (2023). Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies. *Advances in Applied Energy*, 10, s. 1-24.
- Penna P., Cappelletti F., Gasparella A., Tahmasebi F. (2014). Optimization-Based Calibration of a School Building Based on Short-Term Monitoring Data. *Proc. of 10th ECPPM 2014*, Vienna,: University of Technology, September, 17-19.
- Penna P., Cappelletti F., Tahmasebi F., Mahdavi A. (2015). 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.
- Piselli C., Guastaveglia A., Romanelli J., Cotana F., Pisello A.L. (2020). 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.
- Principi, P., Fioretti, R., Carbonari, A., Lemma, M. (2016). Evaluation of energy conservation opportunities through Energy Performance Contracting: A case study in Italy. *Energy and Buildings*, 128, 886-899.
- Poza-Casado, I., Rodríguez-del-Tío, P., Fernández-Temprano, M., Padilla-Marcos, M.A., Meiss, A. (2022). An envelope airtightness predictive model for residential buildings in Spain. *Building and Environment*, 223, 1-11.
- Reddy TA (2006). Literature review on calibration of building energy simulation programs. *ASHRAE Transactions*, 112 (1), 226–240.
- Reinhart, C.F. (2004). Lightswitch-2002: A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, 77, 15–28.
- Rezaei, M., Khalilpour, K.R., Mohamed, M.A. (2021). Co-production of electricity and hydrogen from wind: A comprehensive scenario-based techno-economic analysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46/35, 18242-18256.

- Requena-Garcia-Cruz, M.V., Morales-Esteban, A., Durand-Neyra, P. (2022). Assessment of specific structural and ground-improvement seismic retrofitting techniques for a case study RC building by means of a multi-criteria evaluation, *Structures*, 38, 265-278.
- Rinnovabili.it, Materiali superisolanti a base aerogel. Il Quotidiano Sulla Sostenibilità Ambientale; Spagnolo. <https://www.rinnovabili.it/featured/materiali-superisolanti-base-aerogel/> (Erişim tarihi:21.07.2023)
- Roxon, J., Ulm, F.-J., Pelleng, R.J.-M. (2020). Urban heat island impact on state residential energy cost and CO2 emissions in the United States. *Urban Climate*, 31.
- Saez-Perez, M.P., Garcia Ruiz, L.M., Tajani, F. (2024). Assessment of the Thermal Properties of Buildings in Eastern Almería (Spain) during the Summer in a Mediterranean Climate. *Sustainability*, 16, 746.
- Samuelson, H.W., Ghorayshi, A., Reinhart, C.F. (2016). Analysis of a simplified calibration procedure for 18 design-phase building energy models. *Journal of Building Performance Simulation*, 9(1), 17-29.
- Santoli, L., Mancini, F., Rossetti, S., Nastasi, B. (2016). Energy and system renovation plan for Galleria Borghese, Rome. *Energy and Buildings*, 129, 549-562.
- Saraiva, N.B., Pereira, L.D., Gaspar, A.R., Costa, J.J. (2021). Barriers on Establishing Passive Strategies in Office Spaces: A Case Study in a Historic University Building. *Sustainability*, 13, 1-16.
- Sariaydın, E.U., Güçyeter, B., Halaç, H.H. (2024). Planning the monitoring process and energy performance evaluation in historical buildings: The case of Tiryakizade Süleyman Ağa Mosque. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39, 2, s. 943-958.
- Sarna, I., Ferdyn-Grygierek, J., Grygierek, K. (2022). Thermal Model Validation Process for Building Environment Simulation: A Case Study for Single-Family House. *Atmosphere*, 13(8), 1-20.
- Sauchelli, M., Masera, G., D'Antona, G., Manzolini, G. (2014). ISIS Facchinetti: A Nearly Zero Energy Retrofit in Italy. *Energy Procedia*, 48, 1326-1335.
- Schibuola, L. ve Scarpa, M. (2016). Experimental analysis of the performances of a surface water source heat pump. *Energy and Buildings*, 133, 182-188.
- Schild, P.G. (2010). ASIEPI Project: Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD. ASIEPI, Berlin. https://www.aivc.org/sites/default/files/ASIEPI_Airtightness_Technical_report_20100422.pdf (Erişim Tarihi: 27.06.23).
- Selvan,S.U. Saroglou, S.T., Joschinski, J., Calbi, M., Vogler, V., Barath, S., Grobman, Y.J. (2023). Toward multi-species building envelopes: A critical literature review

- of multi-criteria decision-making for design support. *Building and Environment*, 231, 1-21.
- Shenwei, Y., Hao, S., Mu, J., Tian, D. (2022). Optimization of wall thickness based on a comprehensive evaluation index of thermal mass and insulation, *Sustainability*, 14 (3), 1143.
- Sherman, M.H., Chan, R. (2004). Building Airtightness: Research and Practice. James & James, LBNL-53356, *State of the Art in Ventilation* içinde (1-34). Londra.
- Sciurpi F., Ghelli A., Pierangioli L. (2020). "La Specola" Museum in Florence: Environmental monitoring and building energy simulation. *Procedia Structural Integrity*, 29, 16-24.
- Sibley, M. ve Sibley, M. (2013). Hybrid Green Technologies for Retrofitting Heritage Buildings in North African Medinas: Combining Vernacular and High-tech Solutions for an Innovative Solar Powered Lighting System for Hammam Buildings. *Energy Procedia*, 42, 718-725.
- SOLARWORLD, Sunmodule-solar SW 100 poly RGP. https://www.boutiquesolaire.fr/Docs/Solarworld/SW_poly_100-24.pdf (Erişim tarihi: 25.07.2023).
- Solar Window, Technology. <https://www.solarwindow.com/technology/> (Erişim tarihi: 19.07.2023).
- Souza de Almeida, M., Gimenes, R.M.T., Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., Foes, G.K., Carrijo-Mauad, J.R. (2022). Economic analysis of intensive and super-intensive *Litopenaeus vannamei* shrimp production in a Biofloc Technology system, *Boletim do Instituto de PESCA*, 48, 1-12.
- Sözer, H., Sami Shams, A. (2019). 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.
- Sun, K., Hong, T., Kim, J. ve Hooper, B. (2022). Application and evaluation of a pattern-based building energy model calibration method using public building datasets. *Building Simulation*, 15 (8), 1385-1400.
- Sustainable Energy Research Group (2017). CCWorldWeatherGen - Climate change world weather file generator, Version 1.9. Birleşik Krallık : Southampton Üniversitesi, <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>
- Şahin, C.D., Arsan, Z.D., Tunçoku, S.S., Broström, T., Akkurt, G.G. (2015). A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey. *Energy and Buildings*, 96, 128-139.
- Şenkal Sezer F. (2015). Kullanıcı memnuniyetinin konfor koşulları açısından değerlendirilmesi: bir eğitim binası örneği. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 16 (1), 11-19.

- Tadeu, S., Rodrigues, C., Tadeu, A., Freire, F., Simoes, N. (2015). Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions. *Journal of Building Engineering*, 4, 167-176.
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Turizm Aktiviteleri-Termal Turizm. <https://eskisehir.ktb.gov.tr/tr-158566/termal-turizm.html> (Erişim Tarihi: 27.07.2023)
- Timur, B.A., Başaran, T., İpekoğlu, B. (2023). Tarihi konutların yeniden kullanımında geleneksel ocakların güncel ısıtma yüklerini karşılama etkinliği: Güneybatı Anadolu'dan  rnekler, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38, 189-200.
- Tripathi B., Arora R.C., Moulic S.G. (2004). Effect of Buoyancy on Room Air Flow. *Proceedings of the ASME 2004 Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference*, Volume 2, Parts A and B, Kuzey Carolina-USA: Charlotte, , 1333-1338.
- TS 825. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. http://www1.mmio.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf. (Eri im tarihi Ekim 2022)
- Tüysüz F., Sözer H. (2020). 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.
-  lgen, K. (2002). Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor, *Energy and Buildings*, 34, 273-278.
- Vallati, A., Di Matteo, M., Vittoria Fiorini, C. (2022). Retrofit Proposals for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Historic Public Buildings: The Case of the Engineering Faculty's Seat of Sapienza University. *Energies*, 16(1), 1-25.
- Vella R.C., Martinez F.J.R., Yousif C., Gatt D. (2020). A study of thermal comfort in naturally ventilated churches in a Mediterranean climate, *Energy and Buildings*, 213.
- Via, M.D., D'Antonio, R., Mannella, A. (2019). Energy consumption and seismic retrofitting interventions in the architectural heritage: Building performance simulations of a historical building in Italy. *MATEC Web of Conferences*, 282, 4th Central European Symposium on Building Physics (CESBP 2019),  EKYA: Prag.
- Yang, Z. ve Becerik-Gerber, B. (2015). A model calibration framework for simultaneous multi-level building simulation. *Applied Energy*, 149, 415-431.
- Yang, X., Chen, Z., Zou, Y., Wan, F. (2023). Improving the Energy Performance and Economic Benefits of Aged Residential Buildings by Retrofitting in Hot-Humid Regions of China. *Energies*, 16, 13.

- Yin, R., Kiliccote, S., Piette, M.A. (2016). Linking measurements and models in commercial buildings: a case study for model calibration and demand response strategy evaluation. *Energy and Buildings*, 124, 222–235.
- Yoshino H, Hong T, ord N (2017). IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. *Energy and Buildings*, 152, 124–136.
- Shenwei, Y., Hao, S., Mu, J., Tian, D. (2022). Optimization of wall thickness based on a comprehensive evaluation index of thermal mass and insulation, *Sustainability*, 14 (3), 1143.
- Zhang, L., Zhang, J., Wang, F., Wang, Y. (2016). 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.
- Zhang, Q., Zhai, H., Zhang, X., Liu, F. (2020). Simulation analysis and thermal comfort assessment of indoor environment of the heritage building in gate tower. *Indoor and Built Environment*, 30(6).
- Quintana, S., Huang, P., Saini, P., Zhang, X. (2021). A preliminary techno-economic study of a building integrated photovoltaic (BIPV) system for a residential building cluster in Sweden by the integrated toolkit of BIM and PVSITES. *Intelligent Buildings International*, 13 (1), 51–69.
- Wells, J.A., Spewak, R. (2019). The Use of Hygrothermal Modeling to Validate the Application of an Open-Cell Spray-Foam Insulation Application to a High-Rise Heritage Building in Winnipeg, Manitoba. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 46(11), 1021-1031.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-9156-4674

Ad Soyad : Ebru ULAŞ SARIAYDIN

Yabancı Dil : İngilizce /C2

Eğitim Geçmişi:

- 2011-2017, Anadolu Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- 2019-2024, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Bütünleşik Doktora Programı
- 2019-2024, 100/2000 YÖK Doktora Programı
- 2020-2024, TÜBİTAK-Bideb 2211/A

Mesleki Geçmiş:

- 2012, Şeyda Ünal Mimarlık, BURSA, Stajyer Mimar
- 2016, Ali BOSTANCI İnşaat, BURSA, Stajyer Mimar
- 2016-2019 BAP Mimarlık Ofisi, Eskişehir, Mimar

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2024, Araştırma Makalesi, Tarihi yapılarda izleme sürecinin planlanması ve enerji performans değerlendirmesi: Tiryakizade Süleyman Ağa Cami örneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- 2024, Bilimsel Araştırma Projesi, Farklı Isıtma Sistemi ile İklimlendirilen İki Tarihi Caminin Termal ve Enerji Performans Değerlendirmesi, BAP 306-Doktora Tez Projesi.
- 2023, Kitap Bölümü, Örneklem Yapı Kararında Enerji Performans Değerlendirmesi: Örnek Vaka Çalışması, Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Gelişmeler, Platanus Yayıncılık.
- 2023, Araştırma Makalesi, Televizyon Dizisi Kaynaklı Kasıtlı Tahriplerin Nicel Yöntemlerle Değerlemesi: Ayvansaray-Balat, Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi.

- 2022, Bilimsel Araştırma Projesi, Hasarsız Ölçüm Yöntemleriyle Restorasyon Sonrası Tarihi Yapıda İklimsel Parametrelerin Değişim Analizi-BAP 102.
- 2022, Araştırma Makalesi, Arkeolojik Alanlarda Yerel Kullanıcı Bilinç ve Farkındalık Analizi: Germanicia Antik Kenti, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.
- 2022, Araştırma Makalesi, Büyükkada'daki Hafıza Mekanlarının Korunması ve Canlandırılması İçin Kültür Rotası Önerisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.
- 2021, Araştırma Makalesi, Çevrimiçi Ziyaretçi Yorumlarında Çatalhöyük Neolitik Kenti, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi.
- 2021, Araştırma Makalesi, Koç Spor FEST Final Etkinliğine Katılan Sporcuların Kültür Turizmine Olan İlgilerinin Tespiti, İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.
- 2020, Araştırma Makalesi, Sosyal Medyada Şile Kalesi Restorasyon Algısı: Instagram Kullanıcıları Üzerine Bir İçerik Analizi, Turkish Studies - Social Sciences.
- 2019, Araştırma Makalesi, Investigation on Typologies of Oriel in Eskigediz Traditional House, Route Educational and Social Science Journal.
- 2019, Araştırma Makalesi, Tarihi Yapıların, Gerilim ve Korku İçeren Sahnelerde Kullanımının İncelenmesi, Kesit Akademi Dergisi.