T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAMİLERİN ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Ahmet Bircan ATMACA

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Ağustos, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAMİLERİN ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Ahmet Bircan ATMACA tarafından hazırlanan tez çalışması 13.08.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Aynur ÇİFTÇİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Gülten MANİOĞLU, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Suzi Dilara MANGAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ferhan HASMADEN KORKMAZ, Üye
Özyeğin Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Camilerin Isıl Konfor ve Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi İçin Bir Yöntem: İstanbul Örneği" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ahmet Bircan ATMACA

İmza

Bu çalışma, TÜBİTAK BİDEB 2214 – A Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Burs Programı (1059B142000077) ve 2224 – B Yurt İçi Bilimsel Etkinliklere Katılım Desteği (1919B022202767) kapsamında desteklenmiştir.

Anneme, Babama,

Eşime ve Kızıma.

TEŞEKKÜR

Doktora tezim ve akademik kariyerim süresince bana yol gösteren, yardım ve desteğini esirgemeyen, çok değerli bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan tez danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik'e teşekkür ediyorum. Doktora tezimdeki katkıları için tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Aynur Çiftçi ve Prof. Dr. Gülten Manioğlu'na, tez savunma jürisi üyeleri Doç. Dr. Suzi Dilara Mangan ve Dr. Öğr. Üyesi Ferhan Hasmaden Korkmaz'a teşekkür ederim.

Tezimin tüm süreçlerinde destekleri için Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği ailesine, tez kapsamında yapılan simülasyonların başlangıcındaki destekleri için Dr. Elif Esra Aydın'a, akademik kariyerimin başlamasına sebep olan Dr. Murat Akdi'ye, doktora tezimin devamı için katkı sağlayan Dr. Ahmet Sait Bulut, Dt. Bahadır Gürsül'e teşekkür ederim. Bu zorlu süreçte yanımda bulunan, desteklerini hissettiren arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ederim. Son olarak hem akademik kariyerimde hem hayatımın tüm sürecinde desteklerini benden hiç esirgemeyen, kaybolduğumda pusulam olan, karanlık zamanlarda ışık olan anneme, babama, kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım. Bu zorlu süreçte her zaman destek olan, stresli ve yoğun zamanlarımda olduğum yerden kaldıran, sakinliği ve huzuru ile tez sürecimin verimini artıran yol arkadaşım eşime ve hayatımıza mutluluk katan, bu zorlu süreci tatlandıran kızıma teşekkür ederim.

Doktora tezim ile ilgili Almanya'daki araştırmalarımı yapmak için olanak ve finansal destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) 2214/A doktora sırası araştırma bursu programı için teşekkür ederim.

Ahmet Bircan ATMACA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Taraması ... 1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı ... 8
1.3 Tezin Hipotezi ve Araştırma Soruları ... 9
2 CAMİLERİN TASARIM ÖZELLİKLERİ 11
2.1 İklim Türüne göre Tasarım ... 12
2.2 Binanın Konumu, Yönü ve Çevre İlişkisi ... 13
2.3 Bina Formu ... 13
2.3.1 Cami Formu Kubbe İlişkisi ... 15
2.4 Camilerin Plan ve Boyut Özellikleri ... 15
2.4.1 Camilerin Boyut Özellikleri ... 17
2.5 Yapı Kabuğu Özellikleri ... 18
2.5.1 Saydamlık Oranı ... 19
2.5.2 Açıklık Sayısı, Konumu ve Gölgelendirme Elemanı Durumu ... 19
3 CAMİLERİN ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM 21
3.1 Camilerin Pasif Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi, Isıl Konfor ve Camilerle ile ilgili Alan Çalışmaları ... 24
3.2 Mevcut Caminin Isıl Konfor ve Enerji Tüketiminin Simülasyon Programı ile Doğrulanması ... 25
3.3 Tasarım Senaryolarının Belirlenmesi ... 25
3.3.1 Optimum Yapı Kabuğu Özelliklerinin Belirlenmesi ... 25

3.3.2 HVAC Sistem Türlerine göre Tasarım Senaryolarının Oluşturulması 26
3.4 Camiler için Uygun Pasif Tasarım Kriterlerinin ve HVAC Sistem Türünün – Kullanım Programının Belirlenmesi 27
4 ISIL KONFOR MODELLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ 28
4.1 Isıl Konfor Modelleri Alan Çalışmaları 28
4.2 Dini Binalardaki Isıl Konfor Ölçüm Sonuçları 34
4.3 Dini Binalardaki Kullanıcıların Isıl Konfor Anket Sonuçları 38
4.4 Anket Sonuçlarına göre Konfor Modellerinin Karşılaştırması 41
4.5 Isı Konfor Modelleri ile ilgili Verilerin Değerlendirilmesi 45
5 MEVCUT CAMİ VERİLERİ İLE SİMÜLASYON PROGRAMININ DOĞRULANMASI 47
5.1 Mevcut Caminin Belirlenmesi ve Gerçek Verilerin Toplanması 47
5.2 Simülasyon programının mevcut caminin gerçek verileriyle doğrulanması 50
6 CAMİLERİN TASARIM SENARYOLARININ ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ 53
6.1 Camilerin Optimum Yapı Kabuğu Belirlenmesi için Tasarım Senaryoları 53
6.1.1 Referans Cami Senaryo Özelliklerinin Belirlenmesi 53
6.1.2 Yapı Kabuğu Parametre Değişikliklerine Bağlı Diğer Senaryolar 56
6.1.3 Referans Senaryoda Malzeme Özellikleri Değişikliğinin Etkisi 59
6.1.4 Referans Senaryonun Isıl Konforu ve Enerji Tüketimi 63
6.1.5 Diğer Tasarım Senaryolarının Enerji Tüketim Verileriyle Karşılaştırılması 64
6.2 Tasarım Senaryoları ve HVAC Sistem Özellikleri 69
6.2.1 Camilerin Plan – Alan – Üst Örtü Türü Parametreleri 69
6.2.2 Standartlara Göre Isıl Konfor Seviyeleri 73
6.2.3 Kullanım Programı ve Saatlik Hava Değişiminin Camilerin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi 73
6.3 Camilerin Plan, Boyut ve Çatı Özelliklerine Göre HVAC Sistem Tiplerinin Enerji Tüketimi Karşılaştırılması 76
7 DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER 84
7.1 Isıl Konfor Modelleri Analizi 84
7.2 Optimum Yapı Kabuğunun Belirlenmesi 84
7.3 HVAC Sistem Türüne göre Tasarım Senaryoları 86
7.4 Camilerin Enerji Etkin Tasarımı İçin Öneriler 86

8 SONUÇ **92**
KAYNAKÇA **95**
A SENARYOLARIN ENERJİ TÜKETİM DEĞERLERİ **104**
B ISIL KONFOR ANKET SORULARI **109**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **110**

SİMGE LİSTESİ

ach	Air change per hour
h	Hour
r	Radius
s	Second

KISALTMA LİSTESİ

AC	Air conditioning
AMV	Actual Mean Vote
APD	Actual Percentage Dissatisfied
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
ATHB	Adaptive Thermal Heat Balance
CET	Corrected Effective Temperature
CoP	Coefficient of Performance
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
ISO	International Organization for Standardization
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
SCI	Science Citation Index
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Cami değerlendirme ölçütleri literatür taraması **3**
Şekil 2.1 Cami pasif tasarım ölçütleri **11**
Şekil 2.2 TS 825-2024'e göre Türkiye'nin ısıl bölgeleri **12**
Şekil 2.3 İslam dünyasındaki kültürel özellikleri gösteren cami örnekleri **14**
Şekil 2.4 Gelişim Sürecine göre cami ve kubbe çeşitleri **15**
Şekil 2.5 Hz. Muhammed (s.a.v.)'in konutu ve temsili resmi **16**
Şekil 2.6 Cami cephesi gölgelendirme elemanları **20**
Şekil 3.1 Çalışmadaki yöntemin basamakları **22**
Şekil 3.2 Camilerin uygun ısıl konfor ve enerji etkin tasarımı için geliştirilen yöntemin adımları **23**
Şekil 3.3 Isıl konfor modelleri ölçüm ve anket çalışmaları akış şeması **24**
Şekil 4.1 Karlsruhe'de belirlenen dini yapıların cepheleri **30**
Şekil 4.2 Isıl konfor parametreleri ve ölçüm aletleri **32**
Şekil 4.3 Dini binalardaki ısıl konfor ölçüm noktaları **32**
Şekil 4.4 Ölçüm ve anket günlerinden örnek görseller **34**
Şekil 4.5 Dini binalardaki etkinlik süresince 5. bölgedeki iç ortam hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri **38**
Şekil 4.6 Dini binalardaki ankete katılan kullanıcıların yaş ve kilo dağılımı **39**
Şekil 4.7 Isıl konfor modellerinin korelasyon katsayısı ve değerlerin dağılımı **44**
Şekil 5.1 1987 – 2017 arasındaki İstanbul ortalama iklim verileri **48**
Şekil 5.2 Mevcut caminin dış ortam görseli, zemin kat planı ve ölçüm noktası **49**
Şekil 5.3 Mevcut caminin 3D görselleri **50**
Şekil 5.4 Mevcut caminin gerçek ve simülasyon programı enerji tüketim değerleri **52**
Şekil 6.1 Referans Caminin Yapı Kabuğu Kesit Özellikleri (duvar, kubbe, zemin döşemesi) **54**
Şekil 6.2 Referans cami senaryosunun dış cephe görselleri **54**
Şekil 6.3 Referans senaryonun cuma ve diğer günlerdeki kullanım programları **55**
Şekil 6.4 Referans senaryonun ısıtma ve soğutma sistem programları **55**
Şekil 6.5 Saydam alanların iyileştirilmesinin enerji tüketimine etkisi **61**

Şekil 6.6 Yalıtım malzemesi kalınlığının artırılarak edinilen enerji tasarrufu eğrisi **63**
Şekil 6.7 Seçilen günlere göre referans cami senaryosunun PMV-PPD sonuçları **64**
Şekil 6.8 Örnek cami senaryolarının toplam enerji tüketim miktarı ve oranları ... **66**
Şekil 6.9 Örnek cami senaryolarının ısıtma ve soğutma için enerji tüketim düzeyleri **68**
Şekil 6.10 Tasarım senaryoları değişkenleri ve sabit özellikleri akışı **70**
Şekil 6.11 Aralıklı ve sürekli kullanıma göre HVAC sistem programları **71**
Şekil 6.12 Enerji tüketim analizleri için üretilen senaryo görselleri..... **72**
Şekil 6.13 Kullanım programlarına göre ısıl konfor düzeyleri..... **74**
Şekil 6.14 Tasarım kriterlerine göre senaryoların enerji tüketim değerleri..... **78**
Şekil 6.15 HVAC sistem türlerine göre senaryoların enerji tüketim miktarı **80**
Şekil 6.16 HVAC sistem türlerine göre senaryoların enerji tüketim miktarı **81**
Şekil 7.1 Camilerin tasarımına yönelik öneriler..... **88**
Şekil 7.2 Senaryoların birim alana göre enerji tüketim miktarı..... **89**
Şekil 7.3 Referans senaryoya göre tasarım senaryolarının enerji tasarruf oranı ... **90**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Cumhuriyet sonrası dönemde yapılan çağdaş cami örnekleri **17**
Tablo 2.2 Camilerin gruplandırılması ve sınıflandırılmasına yönelik ölçütler **18**
Tablo 2.3 TS 825-2024 yapı kabuğu ısı iletkenlik katsayıları (U değeri) **19**
Tablo 4.1 Çalışmada incelenen ısıl konfor indekslerinin parametreleri **29**
Tablo 4.2 Dini binaların fiziksel ve HVAC sistem özellikleri **31**
Tablo 4.3 Christus kilisesindeki ısıl koşulları **34**
Tablo 4.4 Neuapostolische kilisesi ısıl koşulları **35**
Tablo 4.5 Luther kilisesi ısıl koşulları **36**
Tablo 4.6 Hagia Sophia cami ısıl koşulları **36**
Tablo 4.7 Wiesloch cami ısıl koşulları **37**
Tablo 4.8 Fatih – Durlach cami ısıl koşulları **38**
Tablo 4.9 Binalardaki kullanıcıların anket sorularına yanıtları **40**
Tablo 4.10 Kullanıcıların yaş, cinsiyet ve kilo açısından yanıt ortalamaları **41**
Tablo 4.11 Bina türlerine göre konfor modellerinin ortalamaları **42**
Tablo 4.12 Dini yapı türü - bölgelere göre ısıl konfor modelleri ve AMV değerleri **42**
Tablo 4.13 Isıl konfor modellerinin birbirlerine göre regresyon ve korelasyonları **43**
Tablo 5.1 Hz. Ali Caminin HVAC sistem ve fiziksel özellikleri **49**
Tablo 5.2 Mevcut caminin kullanıcı yoğunluğu ve yaklaşık namaz vakitleri **50**
Tablo 5.3 Mevcut caminin ölçüm ve simülasyon sonuçları **51**
Tablo 5.4 Aylara göre mevcut cami enerji tüketim düzeyleri **52**
Tablo 6.1 Referans cami senaryosunun HVAC sistem ve fiziksel özellikleri **56**
Tablo 6.2 Cami senaryolarının ısıl konfor düzeyi analiz girdileri **56**
Tablo 6.3 Senaryolardaki ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlık aralığı **57**
Tablo 6.4 Senaryo türlerindeki yönlere göre yapı kabuğunun saydamlık oranları **57**
Tablo 6.5 Örnek A'ya göre diğer senaryolardaki yapı kabuğunun özellikleri **58**
Tablo 6.6 Cami kabuğunun saydamlık oran alternatifleri **60**
Tablo 6.7 Yapı kabuğu yalıtım malzemesi kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi . **62**
Tablo 6.8 Referans cami senaryosunun toplam enerji tüketimi **64**

Tablo 6.9 Örnek A'ya göre senaryo türlerinin değiştirilen özellikleri **65**
Tablo 6.10 Cami senaryolarındaki simülasyon parametreleri..... **69**
Tablo 6.11 Senaryolardaki tasarım parametre özellikleri **72**
Tablo 6.12 Kullanım programlarına göre senaryoların enerji tüketim miktarları. **75**
Tablo 6.13 Saatlik Hava değişim oranlarına göre enerji tüketim düzeyleri..... **76**
Tablo 6.14 Tasarım kriterleri ve HVAC sisteme göre enerji tüketim değerleri.... **77**
Tablo 6.15 Tasarım kriterleri ve HVAC sisteme göre ısıtma için enerji tüketimi **80**
Tablo 7.1 TS 825 – 2013 ve 2024 ile tez çalışmasının optimum kabuk U değerleri **85**
Tablo 7.2 Referans senaryoya göre senaryoların birim alan ve enerji tasarrufu oranı **91**
Tablo A.1 Oluşturulan tüm senaryoların birim alan enerji tüketimi miktarı ve referans senaryoya göre enerji tüketim oranı **104**

ÖZET

Camilerin Isıl Konfor ve Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi İçin Bir Yöntem: İstanbul Örneği

Ahmet Bircan ATMACA

Mimarlık Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Bu tez çalışması sekiz ana bölümden oluşmaktadır. Tez kapsamında öncellikle camilerin tasarım özellikleri ve ısıl konfor ile ilgili ayrıntılı bir literatür taraması ve alan çalışmaları yapılmıştır. Bu aşamada elde edilen veriler camilerin tasarım senaryolarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Tez kapsamında oluşturulacak yöntemin uygulanması için ılıman nemli iklim bölgesinde bulunan İstanbul ili örnek seçilmiştir. Alan çalışmaları sonrası tez kapsamında kullanılacak programın doğrulanması (Sketchup ve Openstudio programları) ve ısıl konfor, enerji tüketimi ölçümlerinin yapılabilmesi için İstanbul'da mevcut bir cami örnek olarak belirlenmiştir. Caminin gerçek verileri ile simülasyon programındaki veriler karşılaştırılarak programın doğrulanması sağlanmıştır. Program doğrulaması aşamasından sonra, iklim şartlarından ilk etkilenen ve dış ortamla iç ortamı ayırıcı görevi üstlenen cami yapı kabuğunun incelenmesi aşamasına geçilmiştir. Burada yapı kabuğu bileşenlerinin ısı iletim katsayısı, saydam alan özellikleri, gölgelendirme elemanı kullanımı durumu referans senaryoya göre karşılaştırılmıştır. Yapı kabuğu özellikleri belirlenen camilerin HVAC sistem türlerine göre plan, alan ve üst örtü senaryoları analiz edilmiştir. Kare, dikdörtgen ve daire plan şeması, küçük, orta, büyük ölçek türleri, tek kubbeli, çok kubbeli, teras

çatılı ve piramidal/topuz çatı üst örtü türleri, fancoil sistem, radyatörlü sistem, yerden ısıtma sistem, klimalı sistem ve yer merkezli ısı pompası sistemlerinin karşılaştırmalı enerji tüketim verileri incelenmiştir. Ayrıca camilerin kullanım programları ve hava sızdırmazlık oranlarına da bakılmıştır. Elde edilen bilgiler ve oluşturulan yöntem ışığında camiler için enerji etkin tasarım önerileri geliştirilmiş ve uygun HVAC sistem özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul, Isıl konfor, cami, enerji tüketimi, ılıman nemli iklim

ABSTRACT

A Method for Assessment of Mosques in terms of Thermal Comfort and Energy Consumption: Istanbul As A Case

Ahmet Bircan ATMACA

Department of Architecture
Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

This thesis consists of eight main sections. Within this scope, a detailed literature review and field studies were conducted regarding thermal comfort and the design characteristics of mosques. The data obtained at this stage were used to develop design scenarios for mosques. To provide an example for the method to be established within the scope of the thesis, Istanbul, located in a temperate humid climate zone, was selected.

First, the validation of the programs to be used in the thesis (SketchUp and OpenStudio) was conducted, and an existing mosque in Istanbul was selected for thermal comfort and energy consumption measurements. The real data of the existing mosque were compared with the simulation program data to ensure program validation.

Following the validation stage, the study moved on to examining the mosque building envelope, which is the first to be affected by climatic conditions and serves as a separator between the indoor and outdoor environments. The heat transfer coefficient of the building envelope components, the characteristics of transparent areas, and the use of shading elements were compared based on a reference scenario. The characteristics of the building envelope were analyzed according to

the HVAC system types of the selected mosques, including their plan, area, and roof cover scenarios.

Comparative energy consumption data were examined for different plan layouts (square, rectangular, and circular), scale types (small, medium, and large), and roof cover types (single-dome, multi-dome, terrace roof, and pyramidal roof). Additionally, various HVAC systems were compared, including fan coil systems, radiator systems, underfloor heating systems, air conditioning systems, and ground-source heat pump systems. The study also considered the usage schedules of mosques and their air change ratios.

Based on the obtained data and the developed methodology, energy-efficient design recommendations were proposed for mosques, and suitable HVAC system characteristics were identified.

Keywords: Istanbul, Thermal comfort, mosque, energy consumption, temperate humid climate

1
GİRİŞ

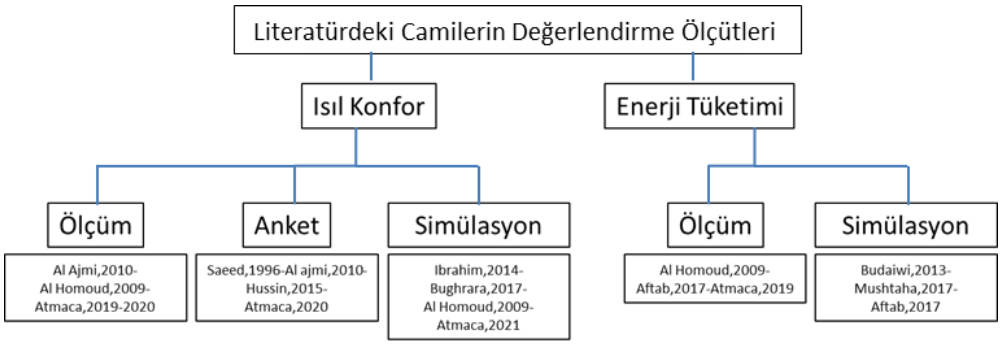
1.1 Literatür Taraması

Dünyada küresel ısınma ve iklim değişikliği, değişen iklim koşullarına göre bina özelliklerinin farklılaşması, insan nüfusunun artması, bina tipolojilerinin çeşitlenmesi nedeniyle son 10 yılda binaların enerji kullanımında %19'un üzerinde bir artış yaşanmıştır [1], [2]. Binalar her yıl küresel enerji talebinin yaklaşık %36-40'ını oluşturmaktadır [3], [4]. Bu durum karbondioksit (CO_2) emisyonlarının yaklaşık dörtte birine karşılık gelmektedir [5], [6]. Binalarda enerji tüketiminin artması küresel ısınmayı ve iklim değişikliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle binaların tasarım sürecinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik pasif ve aktif tasarım kriterlerinin tasarım ve kullanım aşamalarında detaylı olarak ele alınması gerekmektedir. Kamu kullanımına açık, konut dışı ve genel olarak HVAC (ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri – iklimlendirme sistemleri) sistemleri kullanan binalarda enerjinin etkin kullanılması hayati önem taşımaktadır. Binalarda enerjiyi verimli kullanırken konfor seviyelerinden ödün verilmemelidir.

Dini yapı türlerinden biri olan camiler, birçok kişinin aynı anda ibadet etmesine olanak sağlayan yapılardır. Camilerde insanlar bireysel veya toplu olarak ibadet edebilir, sohbet edebilir, kitap okuyabilir veya bu binaları dini faaliyetler için kullanabilirler. Kullanıcılar günde en az beş defa farklı zamanlarda bir araya gelerek toplu veya bireysel olarak ibadet edebilmektedir. Binalarda yılın önemli ayı (Ramazan) ve geceleri (Kandil geceleri) toplu olarak ibadetler yapılmaktadır. Camiler genellikle cuma günü öğle saatlerinde tam doluluğa ulaşmaktadır. Camilerin kendine özel bir kullanım programı vardır. Namaz ibadetinin zamanı güneş etrafında dünyanın hareketine göre yıl boyunca değişmektedir. Bu nedenle camilerin iç mekân konfor koşullarının diğer yapı tiplerinden ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Binaların ısıl konfor düzeyi, kullanıcıların aktivite verimlerini, sağlıklarını, fizyolojik ve psikolojik durumlarını etkilemektedir. Isıl konfor koşullarının sağlanması sürecinde binaların enerji tüketim miktarı yapı işletme maliyetleri açısından kullanıcıların ortam konforuna olan yaklaşımını etkilemektedir. Bu durum kamusal bina sınıfına giren dini yapıların, özellikle camilerin, gelir kaynakları ve düzeyleri dikkate alındığında daha önemli olmaktadır. Bu nedenle camilerin tasarım sürecinde minimum enerji tüketiminin sağlanarak uygun ısıl konfor koşullarının düşünülmesi, pasif ve aktif tasarım ölçütleri ile kullanım sürecinde kullanıcıların daha konforlu aktivitelerini/ibadetlerini yapmalarını gerekli kılmaktadır.

Dini yapıların kullanım yoğunluğu ve saatleri ofis, okul, alışveriş merkezi, hastane gibi bina tiplerinden oldukça farklıdır. Bu nedenle ısıl konfor yönünden diğer bina tiplerinden ayrı değerlendirilmelidir. Ancak dini yapıların ısıl konfor düzeyinin ve enerji tüketiminin belirlenmesi hakkında oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında ortam ısıl konforunu belirlemek için ölçümler yapılmıştır [7]–[9]. Bazı çalışmalarda kullanıcıların ısıl hislerini saptamak için standartlarda var olan 7'li skalaya (çok soğuk, soğuk, serin, normal, ılık, sıcak, çok sıcak) göre hazırlanan anketler yapılmıştır [7], [10]–[12]. Günümüz teknoloji imkanları kullanılarak simülasyon programları aracılığıyla camilerin ısıl konfor düzeyinin belirlenmesi ve tasarım senaryolarının oluşturulması mümkündür [8], [13]–[15]. Camilerin kabul edilebilir ısıl konfor düzeyinden ödün vermeden enerji tüketiminin minimum düzeyde olması gerekmektedir. Bu nedenle enerji tüketimi üzerine mevcut durumu belirlemek için bazı çalışmalarda ölçüm yöntemi kullanılmaktadır [8], [16]–[18]. Enerji tüketimini azaltmak için simülasyon yöntemi ile camilerin tasarımı üzerine senaryolar geliştirilmektedir [14], [16], [19]–[21]. Camilerin ısıl konfor ve enerji tüketimi konularında oluşturulan Şekil 1.1'de literatürdeki başlıca araştırmaların yöntemi ve çalışma konuları yazar isimlerine göre belirtilmiştir.



Şekil 1.1 Cami değerlendirme ölçütleri literatür taraması

Isıl konfor, ısıl çevreden memnun olma durumu olarak tanımlanmaktadır [22]. Binalarda kullanıcıların ısıl konfor düzeyinin arttırılması amacıyla 1897 yılından bu güne kadar deney, ölçüm, anket gibi çeşitli yöntemlerle pek çok çalışma yapılmıştır [23]. P. O. Fanger, 1970'li yıllarda çok sayıda öğrencinin katılımıyla araştırmalar yaparak, ılıman iklim bölgelerindeki iklimlendirilmiş binalarda sabit çevre koşullarını değerlendirmek için bir model geliştirmiştir [24], [25]. Tahmini Ortalama Isıl Duyum (Predicted Mean Vote – PMV) – Tahmini Memnuniyetsizlik Oranı (Predicted Percentage Dissatisfied – PPD) modelinde, ısıl denge denklemlerinin sonuçları ile psikolojik algılardan elde edilen veriler birleştirilmiştir. PMV – PPD bir grup bireyin ısıl hissini tahmin etmektedir. PMV ölçeği, Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) Standardı 55 ve Uluslararası Standardizasyon Örgütü 7730 (ISO) standartlarında yer almaktadır [22], [26], [27]. PMV–PPD ölçeği, sınırlı sayıda kullanıcıyla iklimlendirilmiş binalar için laboratuvar ortamında ölçümler yapan bir model olarak oluşturulmuştur. Bu nedenle bu ölçek, iç mekân ısıl konforunu farklı coğrafyalarda, farklı iklim tiplerinde ve doğal havalandırmalı binalarda olduğundan daha soğuk veya daha sıcak olarak belirleyebilmektedir [28]–[32].

Sıcak–kuru ve soğuk iklime sahip coğrafyalarda yaşayan insanların ısıl konforlarının aynı ölçeğe göre belirlenmesi, standartta belirtilen kabul edilebilir düzeyden farklı sonuçlara yol açabilmektedir [23], [33]. Literatürde okul, hastane, ofis, konut gibi farklı bina türlerinin ısıl konforunu belirlemeye yönelik birçok çalışma bulunmaktadır [34]–[36]. Binaların enerji tüketimini azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [37]–[41]. Aktif tasarım parametreleri ve teknolojik olanaklar geliştirilerek binaların enerji tüketim yükünün azaltılmasına çalışılmaktadır.

Dini yapıların ısıl konfor düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalar genellikle iç mekân ısıl konfor düzeyinin belirlenmesini amaçlamaktadır [42]. Yapılan çalışmalarda kullanıcıların ısıl duyumları anket yöntemiyle belirlenmiştir. Aynı zamanda iç mekân konfor parametreleri ile anket sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar standartlara göre kontrol edilmiştir [43]. Camilerin tasarım ve kullanım aşamalarında enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar bulunmaktadır [14], [17], [44]. Çalışmalarda mevcut durumun iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Ayrıca aktif tasarım parametreleri ile enerji tüketimi açısından da iyileştirmeler vardır [45]–[47].

Günümüz binalarında iç mekân ısıl konforunun değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Fanger ve Toftum, sıcak iklimlerde iklimlendirme sistemi olmayan binalarda PMV modelini geliştirmek için öneriler geliştirmiştir [48]. De Dear ve Brager, uyarlanabilir bir termal modelin, PMV ısıl (termal) konfor modeline kıyasla doğal olarak havalandırılan binalarda kullanıcıların termal duyularına daha yakın sonuçlar sunduğunu belirtmiştir [1]. Yao ve arkadaşları (ark.), adaptif/uyarlanabilir ısıl katsayısını bularak adaptif PMV (aPMV) modelini geliştirmiştir. Bu modelde Çin'de sıcak ve soğuk koşullar yaşayan kullanıcıların termal duyuları anket ve ölçüm yöntemleriyle araştırılmıştır [2]. Schweiker ve Wagner, doğal havalandırmalı ve iklimlendirme sistemli binalar için mevcut ısıl konfor modellerini adaptif modeliyle birleştiren uyarlanabilir termal ısı dengesi modeli (Adaptive Thermal Heat Balance – ATHB) isimli bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu çalışmada ATHB modelinin PMV ve aPMV modellerine göre kullanıcı algısına daha yakın sonuçlar vermiştir [49].

Camilerin ısıl konfor düzeyinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Saeed, Suudi Arabistan'daki bir camide cuma namazı sırasındaki ısıl koşulların düzeyini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada cami kullanıcılarına sorular sorularak kullanıcıların ısıl duyuları araştırılmıştır [12]. Al-Homoud ve ark. üç caminin enerji tüketimini gözlemlemiş ve ısıl duyum ölçümleri yapmıştır. İklimlendirme sistemine sahip camilerde yapılan çalışmalar sonucunda cuma günü ile diğer günler arasında farklı ısıl koşulların olduğu tespit edilmiştir. Camilerin yalıtım özelliklerinin ısıl yük ve enerji tüketiminde önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir [50]. Al-ajmi, PMV parametrelerini ölçerek ve kullanıcılara yöneltilen sorular aracılığıyla 140 Gerçek Ortalama Oy (Actual Mean

Vote – AMV) verisi toplayarak kuru çöl ikliminde bulunan Kuveyt'teki camilerin sıcak dönemde ısıl koşullarının düzeyini analiz etmiştir. Elde edilen veriler standartlarla karşılaştırılarak enerji verimli tasarımlar açısından incelenmiştir [7]. Atmaca ve Zorer Gedik, farklı iklimlendirme sistemlerine sahip iki camide ısıl konfor ölçümleri ve anketleri gerçekleştirmiştir. Elde edilen verilere göre PMV modelinin AMV verilerine göre farklı sonuçlar üretmiştir. Ayrıca çalışmada cami tasarımına yönelik öneriler de yer almaktadır [10]. Bughrara ve ark. sıcak nemli iklim koşullarında tarihi bir camide yerden ısıtma sisteminin yarattığı ısıl koşulların düzeyini adaptif ısıl konfor modeline göre bir simülasyon programında incelemiştir. Sonuçlar, yerden ısıtma sisteminin programının kullanıcı yoğunluğuna göre düzenlenmesinin kullanıcıların konforunu artırdığını göstermiştir [14]. Atmaca ve ark. camilerin yapı kabuğunun tasarımına ilişkin bir yöntem önerisi geliştirmiştir. Önerilen yönteme göre referans cami senaryosuna göre enerji tüketiminde %33 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır [51]. Hussin ve ark. Malezya'daki bir camide bir gün boyunca iç ortam parametrelerini ölçerek termal konfor koşullarını belirlemiştir. Ayrıca 330 kullanıcıdan (AMV) anket yöntemiyle ısıl konfor duyuları hakkında bilgi toplanmıştır. PMV sonuçları iç ortamı konforsuz saptarken, AMV verileri ise iç ortamı kabul edilebilir konfor aralığında olduğunu belirtmiştir [11].

Vella ve ark. sıcak nemli bir iklim bölgesinde doğal yolla havalandırılan beş kilise binasında PMV – PPD modeli ve adaptif konfor modeli üzerine ısıl konfor ölçümleri yapmış ve değerlendirmiştir. Çalışmada barok üslup kiliselerde iç mekân sıcaklık değişimlerinin çağdaş üslup kiliselere göre daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca barok kiliseler yaz döneminde adaptif konfor modeline göre daha iyi performanstadır. Kış döneminde tüm kiliseler kullanım dönemlerinde rahatsız edici koşullar altındadır [52]. Terril ve Rasmussen, HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning – Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi) sistemlerine sahip iki kilisenin enerji tüketimi ve kullanım programına ilişkin ölçümler ve değerlendirmeler yapmıştır. Bulgular, HVAC sisteminin uygun bakım programları ile gereksiz harcanan enerji tüketiminin önlenebileceğini ifade etmektedir. Kiliselerdeki veri kaydediciler ve sensörler ile HVAC sistem performansının ve havalandırma koşullarının kontrol edilebildiği belirtilmiştir [53].

Binalarda kabul edilebilir ısıl konfor düzeyinin sağlanması ve enerjinin verimli kullanımı, binaların tasarım aşamasında dikkate alınması gereken bir konudur.

Binaların dış ortamdaki iklim değişikliklerinden en az düzeyde etkilenmesi için öncelikle yapı kabuğunun iyileştirilmesi gerekmektedir. Yapı kabuğunun iyileştirilmesi ve enerji tüketimine etkisi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Tong ve arkadaşları (ark.) konut binalarında yapı kabuğunun saydamlık oranı, pencerelerin açık-kapalı durumu ve pencerelerden güneş enerjisi kazanç katsayısı (SHGC) gibi senaryoların iç ortam sıcaklığı ilişkisini araştırmıştır [54]. Ayrıca yapı kabuğunun iyileştirilmesine yönelik farklı malzeme ve yeni uygulama önerileri konuları da analiz edilmiştir. Dini yapılarda en az enerji tüketimi için optimum tasarım ve yapı kabuğu özellikleri üzerine literatürde çok az çalışma bulunmaktadır. Al-Homoud, Suudi Arabistan'ın sıcak-kuru ve sıcak-nemli iklimlerindeki orta büyüklükteki camilerin (300 m^2) fiziksel ve ısıl özelliklerinin tasarımı üzerine bir optimizasyon çalışması yürütmüştür [8]. Budaiwi ve ark. sıcak iklimlerde camilerin enerji tüketimini azaltmak için ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin kabuk yenileme ve kullanım programı alternatiflerini araştırmıştır. Çatı ve duvarda yalıtımın kullanımı, hava sızdırmazlığı ve iklimlendirme sisteminin (AC) kullanım stratejileri hakkında öneriler sunulmuştur [55]. İbrahim ve ark. sıcak-nemli bir iklim bölgesi olan Sarawak'ta bir caminin çatı malzemelerinde iyileştirme önerileri sunmuştur. Isıl konfor düzeyi Düzeltilmiş Etkin Sıcaklık (Corrected Effective Temperature–CET) indeksine göre incelenmiştir [15]. Majid ve ark. sıcak – nemli iklim bölgesindeki camilerin tasarımında yönelim ve hacim farklılıklarının ısıl konfor ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini tahkik etmiştir [56].

Camilerin ısıl konforu veya enerji tüketimi üzerine çalışmalar var olmasın karşın, camilerin tasarımı, yenilenmesi, ısıl konfor ve enerji tüketiminden tasarruf sağlanmasına yönelik çalışmalar yetersizdir [57]. Samiuddin ve Budaiwi, simülasyon programı aracılığıyla HVAC sistemin hava dağıtım tipinin Suudi Arabistan'daki bir caminin ısıl konforu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Isıl konforun homojenliğinin sağlanmasının tamamen hava difüzyon performans indeksi değerine bağlı olduğunu bulmuşlardır [58]. Yüksel ve ark. tipik bir kent camisinin ısıl konforunu ve iç mekân hava kalitesini iyileştirmek için ölçümler gerçekleştirmiştir. Doğal havalandırmalı camiler için fan ve iklimlendirme ekipmanlarının kullanılması yönünde önerilerde bulunmuşlardır [59]. Al Homoud ve ark. sıcak nemli ve sıcak kuru iklim tipinde orta büyüklükteki bir cami için

simülasyon programı aracılığıyla fiziksel ve kullanım özelliklerinin yanı sıra ısıl optimizasyon yapmıştır. Çalışmanın sonucunda bir tasarım rehberi sunulmuştur. Caminin kabuk optimizasyonu ile yıllık enerji tüketiminde %18,8 ve %21 oranında tasarruf sağlanmıştır [60].

Budaiwi, simülasyon programı aracılığıyla sıcak nemli iklim koşullarında kabuk tasarım parametrelerindeki potansiyel enerji tasarrufunu değerlendirmiştir. Çalışmada çatının ısıl direncinin ve camilerin hava sızdırmazlık oranının camilerin enerji performansını etkileyen başlıca faktörler olduğu vurgulanmıştır. Büyük ölçekli camilerde ibadet alanının kullanıcı yoğunluğuna göre düzenlenmesi, enerji tüketiminde önemli tasarruflar elde edilmiştir. Ahriz ve ark. sıcak kuru iklim tipindeki camilerin enerji performansını mimari tasarım kriterleri (boyut, form, açıklıklar vb.) ile iyileştirilmeye çalışmıştır. Belirli sınırlamalara sahip vaka çalışmalarının geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [61]. Reda ve ark. iklimlendirilmiş camilerdeki kubbeli ve düz çatılı cami tasarımlarını ölçümler ve CFD hesaplamaları ile karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre sıcak iklim bölgesinde düz çatı, kubbeli çatıya göre daha düşük iç ortam sıcaklığı sunmaktadır [62]. Majid ve ark. Malezya'daki bir cami kabuğunun iç yüzeylerindeki termal emilmenin etkisini, yönlendirme (dikdörtgen formun geniş ve dar kenarları) ve form (hacim alternatifleri) açısından simülasyon yazılımı aracılığıyla değerlendirmiştir. Kıbleye dönük dar cepheli ve geniş hacimli form alternatifleri ısıl konfor açısından daha iyi olduğu vurgulanmıştır [56]. Camilerin enerji performansı, HVAC sistemin çalışma programı, aydınlatma ekipmanlarının ve saydam alanın ısıl özelliklerinin düzenlenmesi yoluyla güçlendirme çalışmaları ile artırılabileceği belirlenmiştir [63]. Budaiwi ve Abdou, sıcak iklimlerde ısıl konfor sağlanırken camilerin enerji performansını artırmak için HVAC sisteminin aralıklı kullanım stratejileri ve operasyonel düzenleme alternatifleri üzerine enerji simülasyonları gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmada uygun HVAC kullanım stratejisi ile soğutma yükünü %23 oranında azaltmışlardır. Ayrıca bölgelemenin uygun kullanımı ile enerji kullanımında %30 oranında tasarruf sağlanmıştır [55]. Diler ve ark. simülasyon programı aracılığıyla tarihi bir camideki yenileme çalışmalarını incelenmiştir. HVAC sisteminin aralıklı kullanımının sürekli kullanıma göre %46,9 oranında tasarruf sağlayabileceği belirtilmiştir [64]. Al Rasbi ve Gadi, Umman'daki tarihi ve çağdaş mimariye sahip iki camide program

aracılığıyla ısıl yükler açısından analizler yapmıştır. Çalışmaya göre çağdaş mimariye sahip camide birim alan başına soğutma yükleri daha az iken tarihi camide pasif soğutma açısından daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [45]. Yüksel ve ark. Türkiye'de bir camide ısıl konforun sağlanmasında yerden ısıtma sisteminin çalışma stratejileri üzerine senaryolar geliştirmiştir. Ayrıca CO_2 emisyonlarını azaltmak için ölçümler ve simülasyonlar analiz etmiştir. Yerden ısıtma sisteminin çalıştırma programının uygun seçimi ile yıllık CO_2 emisyonunun ve yakıt tüketiminin %9 oranında azaltılabileceğini belirtmişlerdir [65].

Literatürde cami gibi özgün ve farklı kullanım programındaki binaları, hem ısıl konfor hem de enerji tüketimi açısından inceleyerek tasarım parametrelerine yönelik öneri geliştiren çalışmalar oldukça sınırlıdır. Türkiye'de camilerin tasarım, yapım ve kullanımında enerjinin etkin kullanımı ve ısıl konfor koşullarının sağlanmasına yönelik herhangi bir yönetmelik ya da rehber niteliğinde bir çalışma bulunmamaktadır. Hâlbuki camilerin tasarım parametrelerinin belirlenmesinde ısıl konfor ve enerji korunumunun birlikte ele alınmasına, bütüncül bir yaklaşıma gereksinim vardır. Bu nedenle camilerin hem tasarım aşamasında hem de kullanım aşamasında tasarımcıların ve kullanıcıların faydalanabileceği bütünsel rehber bir yönteme ve tasarım stratejilerine ihtiyaç vardır. Türkiye'de Diyanet İşleri Başkanlığı'nın verilerine göre 2009 yılında 80.636, 2023 yılı itibariyle 89.676 adet cami bulunmaktadır [66]. L. Zeren tarafından hazırlanan Türkiye iklim haritasındaki ılıman nemli iklim bölgesinde bulunan illerdeki cami sayısı, Türkiye toplam cami sayısının yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır [67]. Ayrıca camilerin tasarlanacağı iklim türleri de önemlidir. İklim türü binaların kabuk organizasyonlarını, HVAC sistem ve diğer tasarım parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Bu tez çalışmasında; ılıman nemli iklim tipi örnekleminde, Türkiye'deki tüm iklim türlerinde inşa edilecek yeni cami veya mevcuttaki camiler için araştırmacı ve tasarımcılar için bir yöntem, kullanıcılar için öneriler geliştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Sayıları giderek artan, toplumda birçok kişinin aynı anda kullanmasına olanak sağlayan cami yapılarının ısıl konfor koşullarının sağlanması ve enerjinin etkin kullanımı için mevcut ve yeni tasarlanacak camilere yönelik pasif tasarım

kriterlerini ve HVAC sistem özelliklerini içeren bütüncül şekilde bir çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasının amacı, toplumsal kullanım açısından önemli bir etkiye sahip olan camilerde, kabul edilebilir ısıl konfor düzeyini sağlarken, araştırma alanındaki eksikliği sorgulayarak, farklı tasarım parametrelerine (yapı kabuğu ısı iletkenliği, saydamlık oranı, üst örtü türü, plan şeması, ölçek büyüklüğü vd. ve bu parametrelerin alt kriterleri) göre enerji tüketiminin en az düzeyde olması için bir yöntem geliştirmek ve yöntem aracılığıyla tasarımcılara ve kullanıcılara, tasarım ve kullanım önerileri sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan yönteme göre tasarım parametrelerinden oluşan senaryolar gerçek verilerle doğrulanmış simülasyon programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları incelenerek tasarım kriterlerinin enerji tüketim seviyeleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre bu çalışma, tasarım kriterleri arasındaki enerji tüketimi farklılıklarını ve kullanıcılar ve tasarımcılar için uygun tasarım seçeneklerini ortaya koymuştur.

Tez kapsamında camilerin tasarım yönünden tarihsel gelişimine kısaca değinilmiş, ağırlıklı olarak cumhuriyet sonrası dönemde yapılan çağdaş cami örnekleri ve günümüz yönetmelikleri incelenmiştir. Simülasyon programlarının doğrulanması için seçilen mevcut cami 2012-2013 yıllarında betonarme-karkas yapım sistemi ile inşa edilmiş, ılıman nemli iklim bölgesi İstanbul'da bulunmaktadır. Doğrulama için seçilen örnek cami (Üsküdar Hz. Ali Cami) 2011 yılı İstanbul İmar Yönetmeliğine ve TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre tasarlanmış bir camidir. Çalışma kapsamında getirilen öneriler ve değerlendirmeler yeni yapılacak ve son 10 yıllık dönemde yapılmış kullanımda olan camiler için oluşturulmuştur.

1.3 Tezin Hipotezi ve Araştırma Soruları

Camiler, kullanıcı yoğunluğunun namaz vakitleri ve özel günlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği kamusal mekânlardır. Bu değişken kullanım dinamikleri, camilerdeki enerji tüketiminin büyük ölçüde ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinden kaynaklanmasına neden olmaktadır. Kullanıcı sayısındaki ani değişimler ve caminin kullanım dışı olduğu zaman dilimleri göz önünde bulundurulduğunda, enerji yönetiminin verimli bir şekilde sağlanamaması önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, camilerde kullanıcı konforunu

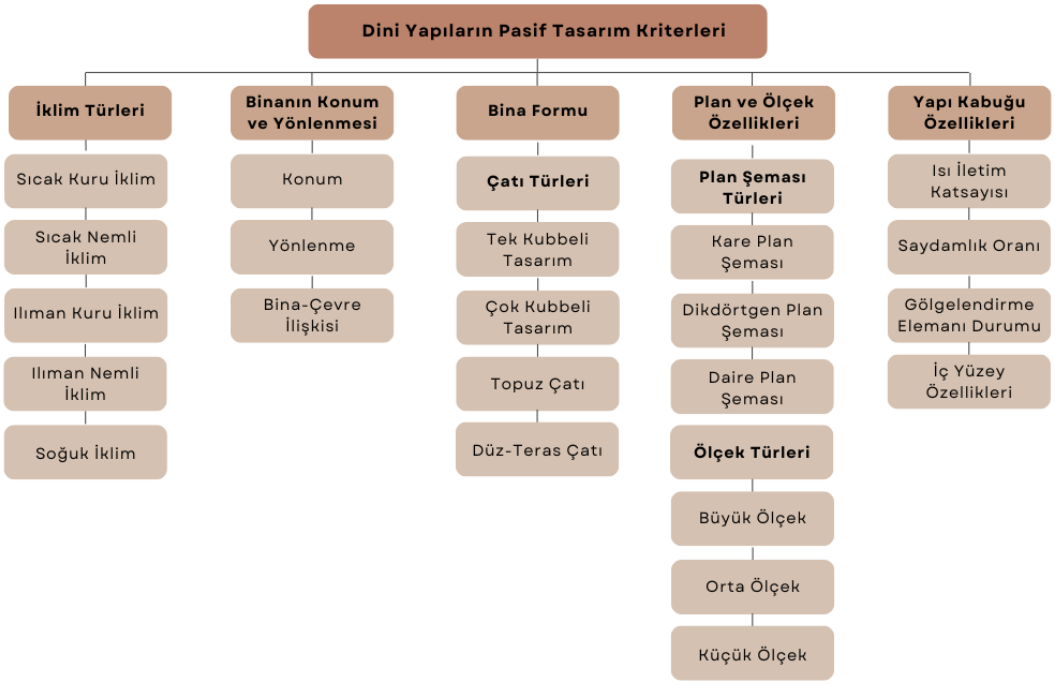
koruyarak enerji tüketimini düşürmeye yönelik bütüncül bir yöntem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Temel hipotez, camilerde kullanıcıların ısıl konforunu sağlarken, enerji tüketiminin de verimli bir şekilde yönetilebileceği ve bu dengenin aktif ve pasif tasarım kriterleriyle farklı iklim bölgeleri için geçerli bir yöntem ile sağlanabileceğidir. Geliştirilen yöntem farklı iklim bölgeleri için de uygulanabilecek esneklikte olup, ılıman nemli iklim bölgesi, İstanbul ili, için örneklendirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan başlıca araştırma soruları aşağıda belirtilmiştir.

- Yapı kabuğu binaları dış ortamın ani iklimsel değişikliklerinden koruyan yapı bileşenidir. Camilerin enerji etkin yapı kabuğu ısıl özellikleri nasıl olmalıdır? Camilerin yapı kabuğunda yapılan iyileştirmelerden hangisi enerji korunumuna en fazla katkıyı sunmaktadır?
- Camilerde değişken kullanıcı yoğunluğu ve farklı kullanım programının enerji tüketimine etkileri nelerdir ve bu değişkenlik dikkate alınarak enerji tüketim önlemleri nasıl planlanmalıdır?
- Binalarda enerji tüketimine neden olan başlıca etkenlerden biri ısıtma-soğutma sistemleridir. Farklı tasarım seçeneklerine (plan/cephe/üst örtü/ölçek) göre camiler için uygun HVAC sistem türü ve programı nelerdir?
- Camilerin ısıl konfor koşulları sağlanırken pasif ve aktif tasarım kriterlerine göre enerji tüketimi değişimi nasıldır?

Tez çalışması kapsamında oluşturulan araştırma sorularının yanıtları araştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen bulgular ve önerilerin araştırmacı, tasarımcı ve kullanıcılara, tasarım ve kullanım aşamalarında katkısı olması beklenmektedir.

2
CAMİLERİN TASARIM ÖZELLİKLERİ

Dini yapı grubu içinden camiler çok sayıda kişinin aynı anda toplanarak ibadet edebildiği, sohbet edebildiği veya turizm amacıyla gezilebilen farklı amaçlar doğrultusunda kullanılan, çeşitli yaş gruplarına hizmet eden toplum kullanımına açık binalardır. Geçmişten günümüze kadar camilerin tasarım, yapım ve kullanım özellikleri, teknolojinin ve inşa tekniklerinin gelişmesi ile değişmiştir. Ancak binaların yapı fiziği kuralları açısından pasif ve aktif tasarım özellikleri gelişmekle birlikte ilkesel olarak benzer kalmıştır. Doğal enerji kaynaklarının azaldığı 21. yüzyılda camilerin minimum enerji tüketimi ile konfor koşullarının sağlanması gerekmektedir. Şekil 2.1 camilerin pasif tasarım ölçütlerini göstermektedir. Pasif tasarım ölçütleri 5 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar iklim türleri, konum ve yönlenme, bina formu, binanın plan ve ölçek türü, binanın yapı kabuğu özelliklerinden oluşmaktadır. Bu tasarım ölçütleri literatürdeki çalışmalar ve yönetmeliklere göre camiler özelinde incelenmiştir.



Şekil 2.1 Cami pasif tasarım ölçütleri [68]

2.1 İklim Türüne göre Tasarım

Binaların yapı kabuğu özelliklerini ve iç ortam ısıl konfor parametrelerini etkileyen önemli bileşenlerden biri yapıların bulunduğu coğrafyadaki iklim faktörüdür. İklim; hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgâr yönü ve hızı, güneşlenme süresi, yağışlar gibi parametrelerden oluşmaktadır.

L.Zeren tarafından hazırlanan çalışmada Türkiye, mimari tasarım açısından 5 farklı iklim tipine ayrılmıştır. Bunlar Ilıman-Nemli, Ilıman-Kuru, Sıcak-Nemli, Sıcak-Kuru, Soğuk iklim sınıflandırmalarıdır. Marmara Bölgesi ve İstanbul ili ılıman-nemli iklim tipine girmektedir [69]. Bununla birlikte Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye 10 iklim sınıfına ayrılmıştır. Bu iklim sınıfları şu şekildedir; BSh yarı kurak step iklimi (sıcak), BSk yarı kurak step iklimi (soğuk), Cfa kışı ılık, yazı çok sıcak ve her mevsim yağışlı iklim, Cfb kışı ve yazı sıcak ve her mevsim yağışlı iklim, Csa kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (akdeniz iklimi), Csb kışı ılık, yazı sıcak ve kurak iklim, Dfa kışı şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı çok sıcak iklim, Dfb kışı şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı sıcak iklim, Dsa kışı şiddetli, yazı kurak ve çok sıcak iklim, Dsb kışı şiddetli, yazı kurak ve sıcak iklim [70]. İstanbul ve Türkiye'nin büyük bir kısmı Csa iklim sınıfına girmektedir. Türk Standartları Binalarda Isı Yalıtım Kuralları 825 (TS 825) – 2024 standardına göre Türkiye altı farklı ısıl bölgeye ayrılmıştır. Şekil 2.2'de İstanbul ili ve Marmara bölgesinin genel olarak 3. Bölgede olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 TS 825-2024'e göre Türkiye'nin ısıl bölgeleri [71]

2.2 Binanın Konumu, Yönü ve Çevre İlişkisi

Yapıların yerleşim yapılacağı arazi koşullarında iklim tipi, bitki örtüsü, güneşlenme faktörü, hâkim rüzgâr yönü gibi parametrelere göre konumlandırılması gerekmektedir. Bu parametreler tasarımcıların bina tasarımına yön vermektedir. Binaların araziye yerleşiminde arazinin formunu en az düzeyde tahrip ederek, hafriyat ve dolgu gerektirmeden mevcut eğime uygun bir şekilde yerleştirilmesi önemlidir.

Yapıların yönlendirilmesi güneş, rüzgâr, manzara, gürültü ve yapı çevresindeki değişkenler ile ilişkilidir. Yönlendirmede belirtilen değişkenlerden hangisinin daha etkin olacağına iklim koşulları ve yapıda alınacak tasarım kararları etkili olmaktadır [72].

Cami yapılarının yönlendirmesi Mekke, Arabistan (Kıble doğrultusunda) şehrine doğru olmaktadır. Türkiye'de camilerin yönlendiriliş doğrultuları Güneydoğu-Kuzeybatı ekseninde yer almaktadır. Namaz ibadeti kıbleye doğru olmaktadır. Camilerdeki açıklıkların konumu ve türleri bu yön dikkate alınarak yapılmaktadır.

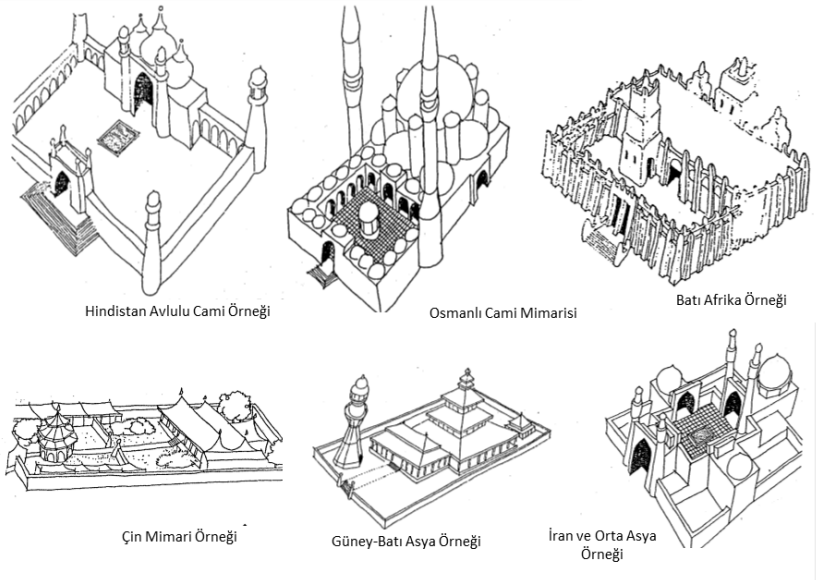
Yapıların çevresi ile olan ilişkisi ısısal, görsel ve işitsel konfor koşullarını etkilemektedir. Yapılar birbirleri için güneş ve rüzgâr gibi doğal unsurları kesici ya da yansıtıcı etkide bulunabilmektedir. Yapıların birbirleri ile uygun aralıkları iklim tipine göre değişiklik göstermektedir. Binaların çevresinde ağaçlıklı doğal ortamların bulunması bölgenin mikroklimasını etkilemektedir. Yapıların çevresindeki trafik yoğunluğu, konut-sanayi bölgesi olma durumu gibi parametreler iç ortam hava kalitesini etkilemektedir.

2.3 Bina Formu

İslam dininin insanları bir arada ibadet etmeye teşvik etmesi, mescitlerin ve camilerin var olma gereksinimine neden olmuştur. İslam dininin ilk yıllarında yapılan mescitler, insanların baş yüksekliği seviyesinde, dört tarafı duvarlarla çevrili, üstü açık basit geometrili bir mimari forma sahipti. Zamanla insanların güneş ışınlarından rahatsız olması nedeniyle mescidin üst bölümü hurma ağaçları ile örtülmüştür. İslamiyet'in farklı coğrafyalarda, toplumlarda yayılışı ile çeşitli mimari üsluplarda camiler ve mescitler inşa edilmiştir. İslam dininde cami mimarisinde olması gereken herhangi bir kural bulunmamaktadır. Fakat

toplumlardaki mimari ile yapı malzemelerinin gelişimi ve kültürel etkileşim ile cami mimarisi gelişmiş ve çeşitlenmiştir. İslam dininin ilk zamanlarında toprak olan cami zeminleri sonra ki yıllarda çakıl taşları ile kaplanmıştır. Müslüman insan sayısının artması ile Hz. Ömer döneminde Mekke ve Medine'deki camiler genişletilerek yenilenmiştir. Hz. Osman döneminde işlenmiş taş, sütun ve alçı; çatıda Hint meşesi kullanılmıştır [73]. Temel amacı ibadet etmek için kullanılan camiler farklı işlevlere de hizmet etmektedir. Plan düzlemlerinde işlevlerine göre çeşitli bölümlere ayrılan bu dini yapılar esas olarak 2 bölümden oluşmaktadır. Camiler, camideki insanların ibadet edebilmeleri için yan hizmetlerde kullanılan dış mekân elemanları ile ibadetin gerçekleştiği alanda bulunan iç mekân elemanları olmak üzere iki bölüme ayrılır. Dış mekân elemanlarında avlu, minare, revak, şadırvan, musalla taşı, tuvaletler, arasta (çarşı), son cemaat mahalli ve külliye kısımları bulunmaktadır. İç mekân elemanları, namaz kılınan ibadet alanı (harim), minber, mihrap, vaaz kürsüsü, imam ve müezzin odaları, ilk cemaat mahalli, hünkâr mahfili, müezzin mahfili gibi bölümlerden oluşabilmektedir.

Camilerin yapı biçim ölçütü mimari yorumlama ve kültürel etkilere göre farklılıklar gösterse de İslam dininin geçmişten günümüze gelinen sürecinde genellikle kubbe, son cemaat mahalli, avlu-revaklı tasarım, minare yapısal elemanları vardır. Şekil 2.3 İslam dünyasındaki kültürel özellikleri gösteren cami formlarını göstermektedir.



Şekil 2.3 İslam dünyasındaki kültürel özellikleri gösteren cami örnekleri [74]

2.3.1 Cami Formu Kubbe İlişkisi

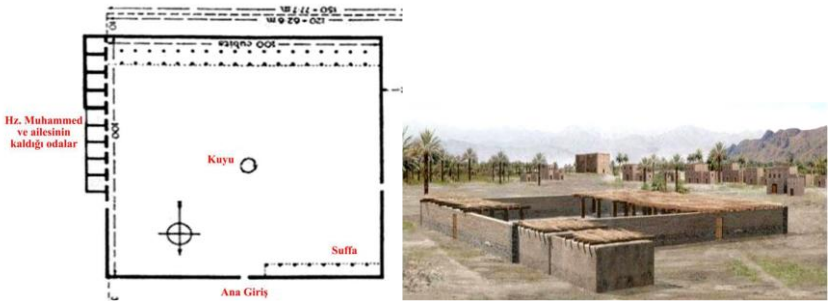
Cami mimarisinde yapım tekniklerinin ve teknolojisinin gelişmesi, birçok kişinin aynı anda tek bir çatı altında toplanabilmesini, ibadet ve sohbetlerde birçok kişinin konuşmacıyı görebileceği, sesin ve görüntünün kesintiye uğramayacağı şekilde toplanılmasını mümkün kılmaktadır. İnanışa göre tek bir kubbenin altında toplanılması birliği, Allah'ın karşısında düzenli ve bir bütün şekilde ibadet edilmesi ile bütünlük ruhunu temsil etmektedir. Bu nedenle mimari tasarımların gelişimi sürecinde çok kubbeli tasarımlardan tek kubbeli tasarımlara geçiş yapılmaya çalışılmış ve bu sürecin en büyük örneği Mimar Sinan'ın 1575 yılında yapılan Selimiye Cami'nde görülmüştür. Anadolu'daki kubbeli cami tasarımları Selçuklular zamanında başlamıştır [75]. Klasik Osmanlı Cami mimarisinde yaşanan gelişmişlik günümüze kadar kültürel miras olarak gelmiştir. Ancak dini yapıların kubbeli tasarım ölçütü çok daha eskilere dayanmaktadır. 537 yılında kilise olması için yapılan 1453 yılında camiye çevrilen Ayasofya cami ise dini yapıların kubbeli tasarım ölçütü açısından önde gelen yapıtlardan biridir. Kubbe ölçütü, birliği, bütünlüğü, işlevselliği, ihtişamı, düşmanlara korkuyu vb. birçok anlamı bünyesinde barındırmaktadır. Şekil 2.4 gelişim sırasına göre cami ve kubbenin çeşitlerini göstermektedir.



Şekil 2.4 Gelişim Sürecine göre cami ve kubbe çeşitleri [76]

2.4 Camilerin Plan ve Boyut Özellikleri

İslam dininin peygamberi Hz. Muhammed (s.a.v.)'in konutu inşa edilen ve etrafı duvarlarla çevrilen ilk mescit olma özelliğine sahiptir. Şekil 2.5'te belirtilen plan şeması ve temsili resimde, plan şemasının kare olduğu ve boyutsal özelliklerinin yerel malzemelerden yapılmış duvar ve hurma ağacı yapraklarıyla örtülmüş üst örtüden olduğu görülmektedir.



Şekil 2.5 Hz. Muhammed (s.a.v.)'in konutu ve temsili resmi [77], [78]

İslam dininin farklı coğrafyalara yayılması ile cami biçim ve plan şemaları çeşitli kültürlerden etkilenerek yerel özelliklerle bütünleşmeye başlamıştır. Orta Asya, Ortadoğu, Arap yarımadası ve kuzey Afrika gibi Müslümanların yoğun yaşadığı bölgelerde cami mimarisi yerel malzeme ve kültürel özelliklerden esinlenilerek oluşturulmuştur. Orta Asya'da Karahanlılar ile başlayan Müslümanlık faaliyetleri ilk olarak Hazara Cami'sinde merkezi kare planlı ve kubbe örtülü cami, tuğla ve ahşap malzemelerden oluşturulmuştur. Anadolu'da ise Selçuklu, Artuklu, Danişmentli gibi devlet ve beyliklerle farklı bölgelerde ilk cami örnekleri görülebilmektedir. Anadolu'daki ilk cami eseri Büyük Selçuklu devleti tarafından yaptırılan Diyarbakır ulu camidir [79].

Osmanlı Devleti ile cami mimarisi tarihinin en önemli çağlarından birini yaşamıştır. İznik, Bursa, Edirne ve İstanbul'da Mimar Sinan'ın ve diğer mimarların birçok anıtsal ölçekte cami tasarımları günümüze kadar ulaşmıştır [80]. Osmanlı cami mimarisinin temel birimleri "kubbe-kare-küp" olmuştur [81], [82]. Tek kubbenin yetmediği açıklıklarda yardımcı elemanlarla desteklenerek daha büyük açıklıklar oluşturulmuştur. Edirne Üç Şerefeli Cami Klasik Osmanlı cami mimarisinin başlangıcı kabul edilmiştir. Caminin kubbesi altı büyük ayak üzerine oturtulmuştur. Mimar Sinan'ın Selimiye Cami'nde, sekiz ayak/paye üzerine oturtulmuş bir kubbe vardır.

Cumhuriyet dönemi cami mimarisinde, geçmişten gelen kültürel miras ile günümüz teknolojisi, yapım teknikleri ve ihtiyaçlarına göre şekillenen arayışlar bulunmaktadır. Buradaki camilerin plan şemaları incelendiğinde, kare, dikdörtgen, daire, üçgen, çokgen, altıgen, sekizgen ve onikigen gibi tasarım örnekleri görülebilmektedir [83]. Tablo 2.1'de cumhuriyet sonrası yapılan çağdaş cami örnekleri yer almaktadır. Bu örneklerde kare plan, altıgen plan, dairesel plan şemaları yoğunluktadır.

Tablo 2.1 Cumhuriyet sonrası dönemde yapılan çağdaş cami örnekleri

Yapının Adı	İl	Yapım Yılı	Kişi Kapasitesi	Plan Şeması	Örtü Sistemi	Son Cemaat Mahalli
Kınalıada Cami	İstanbul	1964	100	Düzensiz Altıgen	Piramidal Çatı	Yok
Etimesgut Cami	Ankara	1967	300	Düzensiz Altıgen	Düz Çatı	Yok
Batıkent Cami	Ankara	1983	250	Düzenli Altıgen	Türk Üçgeni Plaklar	Var
Tek Cami	Ankara	1988	400	Düzenli Sekizgen	Yat-Dikey Çizgiler	Var
TBMM Cami	Ankara	1989	500	Kare Yayvan	Kademeli Piramidal	Var
Derinkuyu Cami	Nevşehir	1989	-	Üçgen Plan	Yapısal Bütünlük	Yok
Buttim Cami	Bursa	1996	300	Kare Plan	Kademeli Örtü	Var
Eyüp Cami	Bursa	1996	350	Kare Plan	-	Yok
Refiye Soyak C.	İstanbul	2004	400	Kare Plan	Piramidal Çatı	Var
Şakirin Cami	İstanbul	2009	500	Kare Plan	Pandantif Askılı Kemer	Var
Yeşil Vadi Cami	İstanbul	2010	300	Dairesel Plan	Kubbeli	Var
Sancaklar Cami	İstanbul	2013	500	Kare Plan	Düz Plak	Var
M. İlahiyat Cami	İstanbul	2015	4500	Düzenli Onikigen	Kubbeli	Var
GOSB Cami	Gebze	2015	2185	Kare Plan	Kubbeli	Var
İTÜ Cami	İstanbul	2019	2500	Kare Plan	Kubbeli	Var

2.4.1 Camilerin Boyut Özellikleri

Cami plan şemalarının büyüklüklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Alan büyüklüğü, kullanıcı yoğunluğu ve yerleşim bölgesine göre gruplandırmalar yapılmaktadır. Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından 2012 yılında nihai halini alan Cami Bilgi Bankası ile Türkiye'de bulunan tüm camilerin fiziksel büyüklükleri, kullanıcı sayıları ve ısıtma-soğutma sistemi gibi özelliklerine erişilebilmektedir. Bu sınıflandırma sisteminde ve cami ihtiyaçlarının belirlenmesinde puanlama sistemine gidilmiştir. Tablo 2.2'de camilerin fiziki özelliklerine yönelik hazırlanan sınıflandırma çeşitleri gösterilmektedir. 2007 yılında A. Onay tarafından hazırlanan çalışmada Ulu Camiler için min. 750 m^2, merkez camileri için min. 500 m^2, çarşı camileri için min. 150 m^2 olması gereken alanlar belirtilmiştir [84]. M. Oral tarafından hazırlanan çalışmada cami

sınıflandırması A tipi 256 m^2 (orta büyüklükte cami), B tipi 400 m^2 (büyük cami), C tipi 729 m^2 (merkez cami) büyüklüğünde belirtilmiştir [82].

Tablo 2.2 Camilerin gruplandırılması ve sınıflandırılmasına yönelik ölçütler [84]

Camilerin Sınıfları	**Cami Toplam Puanı**	**Kullanıcı Sayısı**	**Cami Kapalı Alanı**	**Cami Bulunduğu Yer**	**İbadete Açık Olduğu Vakitler**
1.Sınıf Cami (Ulu Camiler)	86 puan ve üzeri	Min. 500 Kişi	Min. 750 m^2	İl-İlçe Merkezi	Beş Vakit
2.Sınıf Cami (Merkez Camiler)	76-85 puan arası	Min. 250 Kişi	Min. 500 m^2	İl-İlçe Merkezi	Beş Vakit
3.Sınıf Cami (Çarşı Camileri)	55-75 puan arası	Min. 100 Kişi	Min. 150 m^2	İl-İlçe Merkezi	Beş Vakit
4.Sınıf Cami (Mahalle Camileri)	55-75 puan 30-54 puan arası	Min. 20 Kişi Min. 15 Kişi	Min. 75 m^2	İl-İlçe-Belde Merkezi	Beş Vakit
5.Sınıf Cami (Mescit Tipi)	29 puan ve altı	-	-	-	Beş Vakit

Cami yapılarında boyut özellikleri ile birlikte kullanıcı sayısı ve kişi başına düşen alan miktarı ibadetin uygun şartlarda yapılmasını mümkün kılmaktadır. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde, minimum ve olması gerekli kişi başına düşen birim alan 0.50 m^2 ile 0.96 m^2 arasında değişmektedir [50], [82]. Bu çalışmada kişiler için ibadet etme birim alanı 0,71 m^2 (0,65 m x 1,1 m) önerilmektedir.

2.5 Yapı Kabuğu Özellikleri

Yapı kabuğunu oluşturan dolu ve saydam alanların ortalama ısı iletkenlik direncinin artması ya da ısı iletim katsayısının düşmesi kabuktan ısı geçişini azaltmaktadır. Bu durum iç ortamın ısıl konfor düzeyinin korunması için kullanılan enerji tüketim miktarını etkilemektedir. Toplam ısı iletim katsayısı, yapı kabuğunda bulunan malzemelerin kalınlıklarına ve özgül ısı geçirgenlik katsayısına bağlıdır. Tablo 2.3'te TS 825–2024 standardında Türkiye 3. Bölgede (İstanbul) binalarda sağlanması gereken ısı iletim katsayısı sınır değerleri belirtilmiştir [71].

Tablo 2.3 TS 825-2024 yapı kabuğu ısı iletkenlik katsayıları (U değeri) [71], [85]

Bölge / Eleman	U_D (W/m²K)	U_T (W/m²K)	U_t (W/m²K)	U_P (W/m²K)
1. Bölge	0,45	0,35	0,4	1,8
2. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8
3. Bölge	**0,4**	**0,3**	**0,35**	**1,8**
4. Bölge	0,35	0,25	0,3	1,8
5. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8
6. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8

U_D: Duvar ısı iletkenlik katsayısı, U_T: Tavan ısı iletkenlik katsayısı, Ut: Taban ısı iletkenlik katsayısı, U_P: Pencere ısı iletkenlik katsayısı,

2.5.1 Saydamlık Oranı

Saydam alanların iç mekân ısıl konforunu etkileyen üç temel özelliği vardır. Güneş ışınları aracığıyla ısıtma özelliği, ısı kayıplarını azaltma özelliği ve gün ışığından yararlanma özelliği başlıca özellikleridir. Binaların günışığından optimum düzeyde yararlanması, iç ortamda kullanılacak aydınlatma enerji tüketim miktarını etkilemektedir. Günışığı kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik durumlarını, verimliliklerini, sağlık durumlarını vb. etkilemektedir. Binalar için günışığı standardında, yapılar için sağlanması gereken sınır değerler, çalışma düzleminde min. aydınlık düzeyi 100 lx, güneşlenme süresi min. 1,5 saat, yatay görüş açısı min. 14° olması gerektiği belirtilmektedir [86].

Güneş ışınları ile iç ortamın ısıtılması kış mevsiminde istenen, yaz mevsiminde kaçınılan bir durumdur. Bu nedenle güneş ışınlarından hem korunma hem yararlanma sağlanmalıdır. Güneş ışınlarından günışığının geçişini engellemeyen ancak güneş enerjisinden gelen ısı dalgalarını yansıtan cam malzemelerin kullanılması güneş kontrolünün sağlanmasını bu durumda soğutma yüklerinin düşmesini sağlayacaktır.

2.5.2 Açıklık Sayısı, Konumu ve Gölgelendirme Elemanı Durumu

Yapı kabuğunda oluşturulan saydamlık oranına ek olarak açıklıkların sayısı, konumu ve gölgelendirme elemanı durumu enerji tüketimi ve ısıl konfor açısından önemlidir. Hâkim rüzgâr yönü ve güneş ışınlarının geliş açılarına ve yapma çevre değişkenlerine göre açıklıkların konumlandırılması gerekmektedir. EN 17037 Binalar için Günışığı standardında gök sınır çizgisi, zemin sınır çizgisi, yatay görüş açısı, yapı dışı engellerin açıklıklarla olan ilişkileri, açıklıkların birbirleri ile olan ilişkileri belirtilmektedir.

Güneş ışınlarının yazın ısıtıcı etkisinden kaçınmak, iç ortamda çalışma düzleminde kamaşma oluşmasını engellemek için saydam alanlarda gölgelendirme elemanları kullanılmaktadır. Binalarda kullanılan gölgelendirme elemanlarının optimum düzeyde yarar sağlayabilmesi için yönlere ve açıklıklara özel boyutlarda tasarlanması gerekmektedir. Güneş ışınlarının yıl içinde kıştan yaza doğru ve gün içinde sabah ve akşamdan öğleye doğru yatay düzleme gelen enerji miktarı ve geliş açısı artmaktadır [87]. Türkiye'de güneş ışınlarının geliş açısı yapı kabuğu yüzeyinde güney yönünde en büyük açısına ulaşır.

Camilerin saydam alanları geçmişten günümüze kadar çeşitli yöntemlerle güneş ışınlarından korunmaktadır. Taşıyıcı sistem şartları ve yapı kabuğu kesitinin fazla olması nedeniyle geçmişte yapılan geleneksel camilerin iç ortamı, saydam alanlar küçük tutularak ve yapı kabuğu kesiti geniş tutularak güneş ışınlarının ısıtıcı etkisinden korunmuştur. Günümüzde gölgelendirme elemanları ve güneş kontrol özellikli camlar ile iç ortam fazla güneş enerjisi ışınlarından korunmaktadır. Yatay–düşey gölgelendirme elemanının tüm yönlerde uygulanması ısıtma yükü enerji tüketiminin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle gölgelendirme elemanları analizler yapılarak kullanılmalıdır. Çeşitli motif ve süslemeler ile saydam alanlar önünde oluşturulan cephe elemanları aracılığıyla çift yönlü kazanç elde edilmektedir. Şekil 2.6'da cami cephesindeki süsleme–motif özellikli gölgelendirme elemanı kullanımına örnekler bulunmaktadır.



Şekil 2.6 Cami cephesi gölgelendirme elemanları (a - Hafıza 15 Temmuz Cami-2019, b - Şakirin Cami-2009, c -Marmara İlahiyat Cami-2015, d - İTÜ Cami-2019)

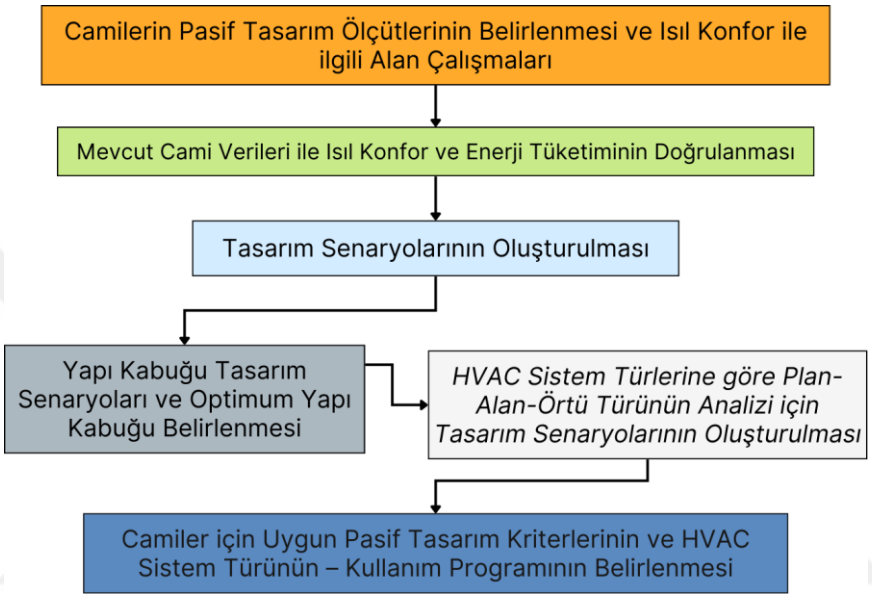
3
CAMİLERİN ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Camilerin ısıl konfor düzeyi kabul edilebilir aralıklarda tutulurken, enerjinin etkin kullanımı için bu tez çalışmasında tasarım kriterlerini içeren bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem Türkiye'deki farklı iklim bölgeleri için kullanılabilir. Çalışma kapsamında ılıman nemli iklim bölgesi ve İstanbul ili örnek il olarak seçilmiştir. Tez kapsamında camilerin tasarım yönünden tarihsel gelişimine kısaca değinilmiş, ağırlıklı olarak cumhuriyet sonrası dönemde yapılan çağdaş cami örnekleri ve günümüz yönetmelikleri incelenmiştir. Programların doğrulanması için seçilen mevcut cami 2012-2013 yıllarında betonarme-karkas yapım sistemi ile inşa edilmiş, ılıman nemli iklim bölgesi İstanbul'da bulunmaktadır. Seçilen örnek cami 2011 yılı İstanbul İmar Yönetmeliğine ve TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre tasarlanmıştır. Bu çalışmadaki simülasyon programlarında kullanılan referans camiler ve geliştirilen tasarımların yapı kabuğu özellikleri tez sürecinde yürürlükte olan TS 825:2013 standardına göre kabuller olarak oluşturulmuş ancak yapı kabuğunun sağlaması gereken özellikler bu çalışma çerçevesinde geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında getirilen öneriler ve değerlendirmeler yeni yapılacak ve son 10 yıllık dönemde yapılmış kullanımda olan camiler için oluşturulmuştur.

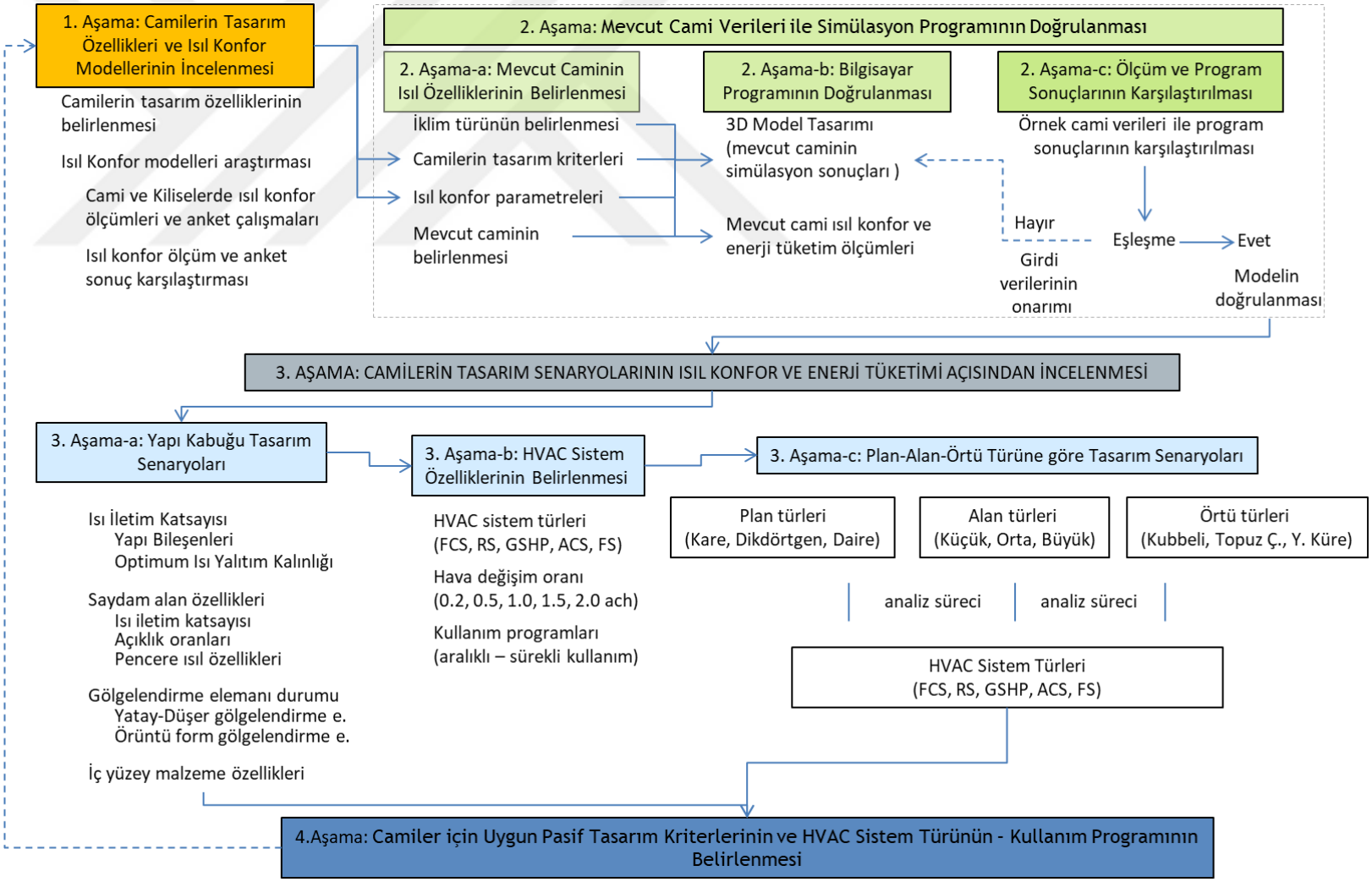
Çalışmanın ilk aşamasında literatürdeki camilerin değerlendirme kriterleri ve bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılarak literatür taraması yapılmıştır. Burada değerlendirme için kullanılan yöntem ve materyaller araştırılarak literatürdeki boşluklar belirlenmiştir. Ayrıca camilerin pasif tasarım kriterleri araştırılmıştır.

Şekil 3.1'de çalışmanın basamakları gösterilmektedir. Bu yönteme göre camilerin pasif tasarım ölçütlerinin belirlenmesi ve ısıl konfor ile ilgili alan çalışmaları yapılmaktadır. Mevcut caminin ısıl konfor ve enerji tüketim verileri ışığında simülasyon programının doğrulanması yapılmıştır. Isıl konfor ve enerji tüketim

analizi için camilerin pasif tasarım senaryoları oluşturulmuştur. Tasarım senaryolarına öncelikle optimum yapı kabuğunun seçilmesi ile başlanmıştır. Optimum yapı kabuğu belirlenen tasarım senaryolarının enerji tüketiminin azaltılması için HVAC sistem türüne göre plan – alan – örtü türünün analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında camiler için uygun pasif tasarım kriterleri belirlenmiştir. Şekil 3.2'de tez kapsamında camilerin uygun ısıl konfor ve enerji etkin tasarımı için geliştirilen yöntemin ayrıntılı adımları gösterilmektedir.



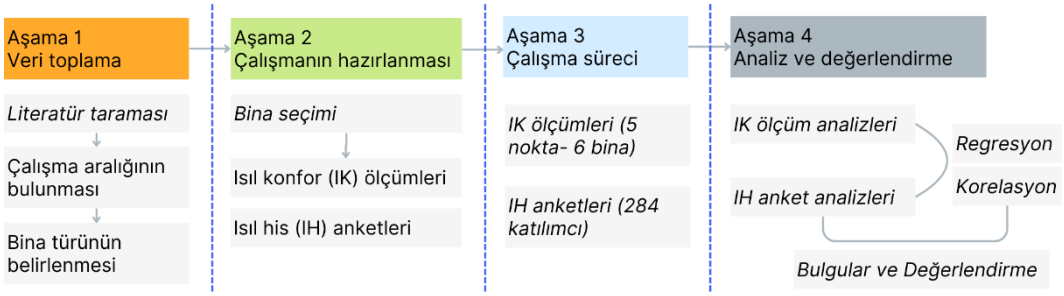
Şekil 3.1 Çalışmadaki yöntemin basamaklar



Şekil 3.2 Camilerin uygun ısıl konfor ve enerji etkin tasarımı için geliştirilen yöntemin adımları

3.1 Camilerin Pasif Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi, Isıl Konfor ve Camilerle ile ilgili Alan Çalışmaları

Yöntemin ilk basamağında, camilerin yapısal iç ve dış tasarım elemanları; iklim türü, binanın konumu ve yönlenmesi, bina formu, plan ve ölçek özellikleri, yapı kabuğu özellikleri alt başlıklarında (literatürdeki çalışmalar ve yönetmeliklerden yararlanılarak) pasif tasarım ölçütleri belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler tez kapsamında oluşturulan tasarım senaryolarına altlık oluşturmuştur. Sonrasında ısıl konfor modelleri ayrıntılı bir biçimde incelenmiş ve alan çalışmaları yapılmıştır. Alan çalışmalarında ısıl konfor modellerinin karşılaştırılması, ölçüm ve anket çalışmaları iki farklı dini yapı türünde incelenmiştir. Bölüm 4'te belirtilen çalışma sınırlılıklarında uygun kilise ve cami yapıları seçilmiştir. Binaların edinilen mimari projelerinde, binalara göre ölçüm noktaları tespit edilmiştir. Alan çalışmaları yapılmadan önce ölçüm cihazları laboratuvar ortamında test edilmiştir. Ek B'de belirtilen ısıl duyum anketi için ASHRAE 2020 standardına uygun sorular üç farklı dilde hazırlanmıştır. Soruların anlaşılırlığını ölçmek amacıyla test grubuna anketler yöneltilmiştir. Bu bölümün üçüncü aşamasında Karlsruhe/Almanya'da bulunan altı farklı binada, beş farklı noktada ısıl konfor düzeyi ve parametreleri ölçülmüştür. Etkinliklerin/ibadetlerin ardından kullanıcılara ısıl duyum anket soruları sorulmuştur. Dördüncü aşamada ise ölçüm ve anket sonuçları analiz edilmiştir. Isıl konfor modelleri ve anket sonuçları istatistiksel değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.3 Isıl konfor modelleri ölçüm ve anket çalışmaları akış şeması

3.2 Mevcut Caminin Isıl Konfor ve Enerji Tüketiminin Simülasyon Programı ile Doğrulanması

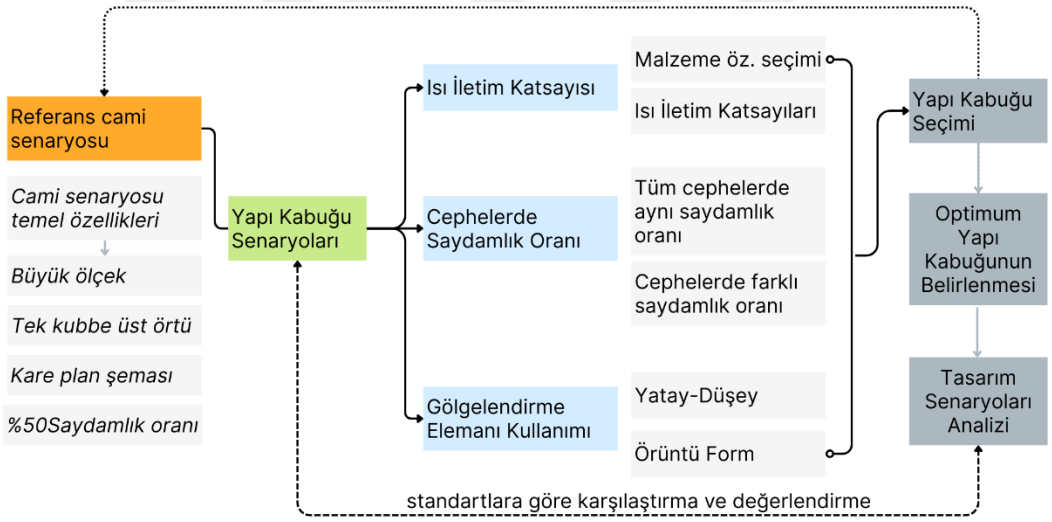
Isıl konfor modellerinin araştırılması aşamasından sonra simülasyon programının doğrulanması aşamasına geçilmiştir. İstanbul ilinde bulunan mevcut bir caminin ısıl konfor düzeyi üç farklı mevsimde ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ile simülasyon programı sonuçları karşılaştırılmıştır. İç ortamın ısıtılıp, soğutulması için harcanan enerji miktarını belirlemek için simülasyon programına yetkililerden edinilen gerçek koşul bilgileri işlenmiştir. Görevlilerden temin edilen bir yıllık elektrik faturalarındaki enerji tüketim miktarı analiz edilmiştir. Sonuçların farklı çıkması durumunda programa işlenen veriler onarılarak gerçek koşullara en yakın sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

3.3 Tasarım Senaryolarının Belirlenmesi

3.3.1 Optimum Yapı Kabuğu Özelliklerinin Belirlenmesi

Yöntemin üçüncü aşamasında öncelikle diğer senaryoların karşılaştırılabilmesi için bir referans cami senaryosu (tek kubbeli, büyük ölçekli, kare plan şemalı) tasarlanmıştır. Bu referans cami üzerine oluşturulan yapı kabuğu senaryolarının enerji tüketim düzeyleri incelenmiştir. Çatı, duvar ve temelde uygulanan ısı yalıtım kalınlıklarının enerji tüketimine etki düzeyleri karşılaştırılmıştır. Yapı kabuğunda kullanılacak yalıtım malzemesinin standartta önerilen ısı iletim katsayısı değeri ve 20 farklı (cm) katman aralığı analiz edilmiştir. Saydam alanlar için önerilen ısı iletim katsayısı ve beş iyileştirme önerisi incelenmiştir. Ayrıca yapı kabuğundaki saydamlık oranı ve gölgelendirme elemanı değişkenlerinin etkisi analiz edilmiştir. Bu çalışmanın aşamaları kabul edilebilir ısıl konforun sağlanması koşuluyla tasarruf edilen enerji miktarının belirlenmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu bağlamda Sketchup programında referans caminin 3D modelleri çizilmiştir [88]. Camilerin yapı kabuğu enerji tüketim senaryoları OpenStudio ve EnergPlus programları aracılığıyla incelenmiştir [89], [90]. Senaryo sonuçları DataViewer programı aracılığıyla günlük, aylık ve yıllık bazda ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir [91]. Şekil 3.3'te geliştirilen yöntem kapsamında camilerin yapı kabuğunun iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların alt aşamaları gösterilmektedir.

Referans caminin ve diğer senaryoların ısıl konfor analizi, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) 7730 ve Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği'nin (ASHRAE) 55 standartlarında yer alan ve simülasyon programlarında kullanılabilen Tahmini Ortalama Isıl Duyum–Tahmini Memnuniyetsiz Oranı (PMV-PPD) ısıl konfor ölçeğine göre yapılmıştır [22], [26]. PMV—PPD ısıl konfor ölçeği, standartlarda yeni inşa edilen veya kullanılmış binalar için önerilen kabul edilebilir konfor aralığı bu çalışmada +0,5 > PMV > −0,5 ve %10 > PPD olarak belirlenmiştir. PMV – PPD ısıl konfor ölçeği koşullandırılmış binalar için oluşturulan bir modeldir. Bu çalışmadaki senaryolarda camilerin doğal havalandırması kapsam dışında bırakılmıştır. PMV modelinin iklimlendirilmiş binalar için oluşturulması, simülasyon programlarına entegre edilmiş olması ve diğer konfor modellerine göre literatürde daha yaygın kullanılması nedeniyle bu tez çalışması için ısıl konfor koşullarının analizi için seçilmiştir.

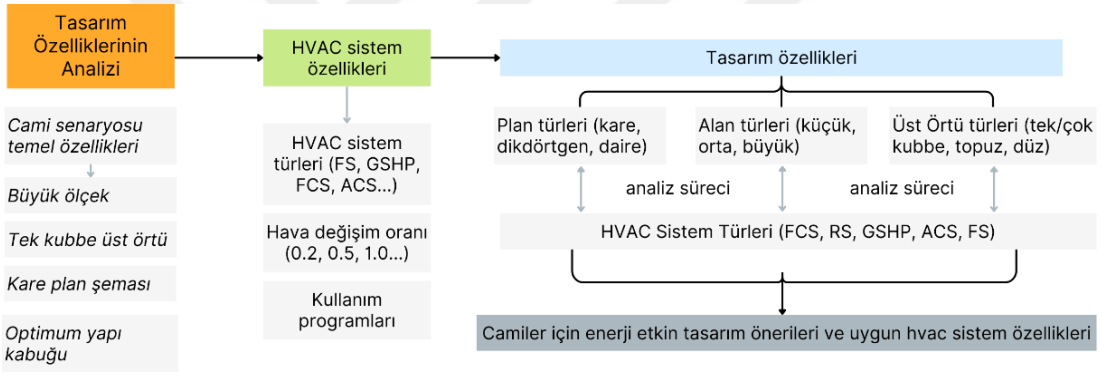


Şekil 3.3 Referans cami senaryosuna göre yapı kabuğunun iyileştirme seçenekleri

3.3.2 HVAC Sistem Türlerine göre Tasarım Senaryolarının Oluşturulması

Yöntemin bu aşamasında optimum yapı kabuğu belirlenen cami senaryosu üzerinde farklı tasarım kriterleri incelenmiştir. Burada camilerin plan, alan ve üst örtü türünün HVAC sistem türü ilişkisinin enerji tüketimi açısından analizi yapılmıştır. Ayrıca HVAC sistemlerin kullanım programı ve hava değişim oranı senaryoları incelenmiştir.

Optimum yapı kabuğu belirlenen referans cami senaryosunun HVAC sistem özellikleri ve diğer tasarım parametreleri enerji tüketimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu parametreler ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistem tipi (fancoil sistem (FCS), sıcak sulu radyatörlü ısıtma ve chiller tipi soğutma sistemi (RS), duvar tipi split klima sistemi (ACS), yerden ısıtma ve chiller tipi soğutma sistemi (FS), toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri (GSHP)), HVAC sisteminin kullanım programı (aralıklı ve sürekli kullanım) ve saat başına hava değişim oranıdır (ach). Ach için literatürdeki mevcut değerler kullanılarak belirlenmiştir [8], [55], [92]. Bu karşılaştırmalarda ısıl konfor düzeyinin kabul edilebilir aralıklarda olması gerektiği ön koşul olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.4'te bu bölümün aşamaları gösterilmektedir. HVAC sistem parametreleri belirlendikten sonra camilerin HVAC sistem türlerine ve mimari tasarım özelliklerine göre simülasyon senaryoları yapılmıştır.



Şekil 3.4 Optimum yapı kabuğuna sahip referans senaryosunun diğer tasarım kriterleri

3.4 Camiler için Uygun Pasif Tasarım Kriterlerinin ve HVAC Sistem Türünün – Kullanım Programının Belirlenmesi

Bu aşamada camilerin mimari tasarım parametreleri; plan tipi, ölçek büyüklüğü ve çatı örtüsü türü olarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırılarak camiler için enerji etkin tasarım ve kullanım önerileri oluşturulmuş, uygun HVAC sistem özellikleri seçimi ve kullanım programları oluşturulan yöntem kapsamında belirlenmiştir. Kullanıcılar ve tasarımcılar için uygun tasarım seçenekleri ortaya koyulmuştur.

4
ISIL KONFOR MODELLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Isıl Konfor Modelleri Alan Çalışmaları

Cami ve kiliselerin mimari tasarımları ve yapı malzemeleri yıllar boyunca coğrafi, kültürel, mezhepsel ve çeşitli nedenlerden dolayı değişiklik göstermiştir. Ancak geçmişten günümüze kadar bu binalarda yürütülen ibadetler/etkinlikler ana tasarım kriterlerinin benzer kalmasına neden olmuştur. Bu binalarda konuşmacı ve dinleyicilerden oluşan bir kullanıcı topluluğu bulunmaktadır. Bu durum dini gerekliliklerle birlikte kullanıcıların belli bir bölgeye konumlandırılmasını ve yönlendirilmesini gerektirmektedir. Büyük hacimli bu yapıların genellikle üst örtüsü kubbe veya tonozla kapatılmaktadır. Döşeme seviyesinde belli bir yönde ve alanda ibadet eden bu kullanıcıların büyük hacimli binalarda ısıl konfor koşullarının sağlanması zor bir durumdur.

Günümüzde, binaların ısıl konforunun değerlendirilmesinde PMV ve aPMV modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda ATHB indeksinin diğer indekslere göre kullanıcı algısına daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [49], [93], [94]. Aynı zamanda binalarda enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin tasarım kriterleri, türü ve kullanımına ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Bu nedenle bu bölümde dini yapıların ısıl konforunu değerlendirmek için üç model kullanılmıştır. Almanya'nın Karlsruhe şehrindeki üç cami ve üç kilisenin beş farklı bölgesinde ısıl konfor ölçümleri yapılmıştır. Karlsruhe şehrinde farklı büyüklüklerde ve biçimlerde 150'den fazla kilise vardır. Bununla birlikte farklı millet ve mezheplere ait olan 17 adet cami bulunmaktadır. Ancak Yahudi dinine mensup insanların ibadet edebileceği 1 adet sinagog bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma cami ve kilise bina türleri sınırlılıklarında gerçekleşmiştir.

Ölçümler, Karlsruhe'nin yaz şartlarının en sıcak olduğu temmuz ve ağustos aylarında gerçekleştirilmiştir [95]. Camilerde yapılan ölçümler, en yoğun kullanımın olduğu cuma günü öğle namazı vaktinde gerçekleştirilmiştir. Kiliselerdeki ölçümler etkinliklerin en yoğun katılımın olduğu günlere göre Cumartesi, Pazar ve Pazartesi günlerinde yapılmıştır. Isıl konfor ölçümleri +0,5 > PMV > -0,5, PPD < %10 aralıklarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca ölçümlerin yapıldığı en kalabalık gün ve saat olan aktivite süresi sonunda kullanıcılara ısıl konfor duyumları ile ilgili sorular sorulmuştur. Elde edilen veriler istatistiksel bilgisayar yazılımı (CRAN package-Comf) aracılığıyla PMV-PPD, aPMV ve ATHB ısıl konfor modellerine göre analiz edilmiştir [96]. Tablo 4.1'de analizlerde kullanılan ısıl konfor indekslerinin parametreleri gösterilmektedir. Isıl konfor modelleri, istatistiksel bilgisayar yazılımları (R studio ve SPSS 22) aracılığıyla kullanıcıların algıları açısından karşılaştırılmıştır [97], [98]. Korelasyon ve regresyon analizinde ısıl konfor modelleri ölçüm ve anket sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Çalışmada incelenen ısıl konfor indekslerinin parametreleri [94]

Model Kısaltması	**Model Tanımı**	**Kaynak**	**Gerekli Parametreler***
PMV	Predicted Mean Vote – Tahmini Ortalama Isıl Duyum	ASHRAE [26] ; Fanger [99]	T_a, T_r, RH, AV, Met, Clo
aPMV	PMV extended with adaptive factor – Adaptif katsayı ile genişletilmiş PMV	Yao et al. [2]	T_a, T_r, RH, AV, Met, Clo, λ_{pmv}, ASV
ATHB	Adaptive thermal heat balance indices applied to PMV – PMV'ye Uygulanan Adaptif Termal Isıl Denge Modeli	Marcel and Wagner [93], [94]	T_a, T_r, RH, AV, Met, T_{rm}, PSYCH

Not *: Ta = iç hava sıcaklığı (°C); Tr = ortalama ışınımsal sıcaklık (°C); RH = bağıl nem (%); AV = hava hızı (m/s); Met = kişilerin metabolik oranı (met); Clo = kişilerin giysi yalıtım değeri (clo); Trm = dış ortam hava sıcaklığı (°C); λPMV/ePMV/λPTS/ePTS/PSYCH = modellerin spesifik katsayıları ( ); ASV = gerçek his oyu ( ).

4.1.1 Cami ve Kilise Örneklerinin Özellikleri

Karlsruhe, Almanya'nın Baden-Württemberg eyaletinin ikinci büyük şehridir. Şehir 49°00′N ve 8°24′E koordinatlarında yer almaktadır. Köppen İklim Sınıflandırması verilerine göre şehir iklimi kışı ve yazı sıcak, her mevsim yağışlı iklim (Temperate oceanic climate – Cfb) sınıfındadır [100], [101]. Kenti çevreleyen dağ ve ovaların da etkisiyle ortalama yaz sıcaklıkları 20-22 ºC dolaylarındadır [101].

Karlsruhe'de çeşitli büyüklüklerde ve tasarımlarda çok sayıda kilise ve cami bulunmaktadır. Farklı ısıl konfor modellerini gerçek koşullarda karşılaştırmak amacıyla altı farklı bina örnek olarak belirlendi. Bu binalardan biri Baden-Württemberg eyaletinin Wiesloch şehrinde, diğer beş dini yapı ise Karlsruhe şehrinde bulunmaktadır. Şekil 4.1 dini yapıların görsellerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Karlsruhe'de belirlenen dini yapıların cepheleri (1, Christus Kilisesi, 2, Neuapostolische Kilisesi, 3, Luther Kilisesi, 4, Kanuni Sultan Süleyman-Wiesloch Cami, 5, Hagia Sophia Cami, 6, Fatih-Durlach Cami)

Christus kilisesi 1896-1900 yılları arasında inşa edilmiş tarihi bir kilise olmasına rağmen 2016 yılında yenilenmiştir. Neuapostolische kilisesi 2016 yılında inşa edilmiştir [102], [103]. Luther kilisesi, 1905 yılında inşa edilmiş, 1944 yılında hava saldırıları sonucu büyük hasara uğramıştır. 1984 yılında tamamlanan restorasyon çalışmaları sonucunda yeniden ziyarete açılmıştır [104]. Kanuni Sultan Süleyman-Wiesloch Cami 1993-1995 yılları arasında inşa edilmiştir. Ayasofya Cami 2011 yılından beri kullanılmaktadır. Fatih-Durlach Cami ise 2013 yılında hizmete açılmıştır. Seçilen kilise ve cami yapıları, birbirine yakın tarihlerde inşa edilmiş veya restorasyon sonucu yenilenmiştir. Ölçüm ve araştırmaların yapılacağı gün ve saatlerde binalardaki iklimlendirme sistemleri çalıştırılmamaktadır (Wiesloch caminde ölçüm öncesinde iklimlendirme sistemi çalıştırılıyordu. Ancak ibadet başlangıcında soğutma sistemi kapatılarak iç ortam doğal olarak

havalandırılmıştır). Binaların iç ortamı pencereler aracılığıyla doğal yolla havalandırılmaktadır. Tablo 4.2'de çalışma kapsamında dini yapılara ilişkin verilen bilgiler yer almaktadır.

Tablo 4.2 Dini binaların fiziksel ve HVAC sistem özellikleri

İsim ve Tür	Yapım Yılı	Konum	Toplam Alan	Isıtma Sistemi	Soğutma Sistemi
Christus Kilisesi	1900 / 2009	Karlsruhe	536. 1 m^2	Zorlanmış Taşınım	-
Neuapostolische Kilisesi	2016	Karlsruhe	728.3 m^2	Zorlanmış Taşınım	-
Luther Kilisesi	1905 / 1984	Karlsruhe	445 m^2	Yerden ve Sandalyelerden Isıtma	-
Hagia Sophia Cami	2011	Karlsruhe	136.2 m^2	Radyatörle Isıtma	İklimlendirme Sistemi*
K. Sultan Süleyman - Wiesloch Cami	1995	Wiesloch	370.5 m^2	Yerden Isıtma ve İklimlendirme Sistemi	İklimlendirme Sistemi *
Fatih-Durlach Cami	2013	Durlach / Karlsruhe	228 m^2	Radyatörle Isıtma	İklimlendirme Sistemi *

Not *: İbadet süresince çalıştırılmamıştır.

4.1.2 Binalardaki Isıl Konfor Ölçme ve Anket Çalışma Koşulları

Çalışmada ölçüm koşullarına PMV, aPMV ve ATHB modellerinin dikkate aldığı parametrelere göre karar verilmiştir. Modellerde iç hava sıcaklığı, ortalama ışınımsal sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve dış hava sıcaklığı dikkate alınmaktadır. Ayrıca giysi yalıtım değeri ve metabolik oran değerlendirmelere analiz aşamasında dahil edilmektedir. Katılımcıların giysi yalıtım değeri, anketteki bilgilerden elde edilen gerçek koşullar dikkate alınarak standarttaki değerlere göre hesaplanmıştır [22]. Metabolik oran, ibadet edenlerin aktivite düzeyi dikkate alınarak standartta belirtilen değerlere göre belirlenmiştir [26]. Isıl konfor modellerinin (PMV, aPMV, ATHB) birbirleriyle karşılaştırılması, kullanıcıların gerçek ortalama oylarına (AMV) göre yapılmıştır.

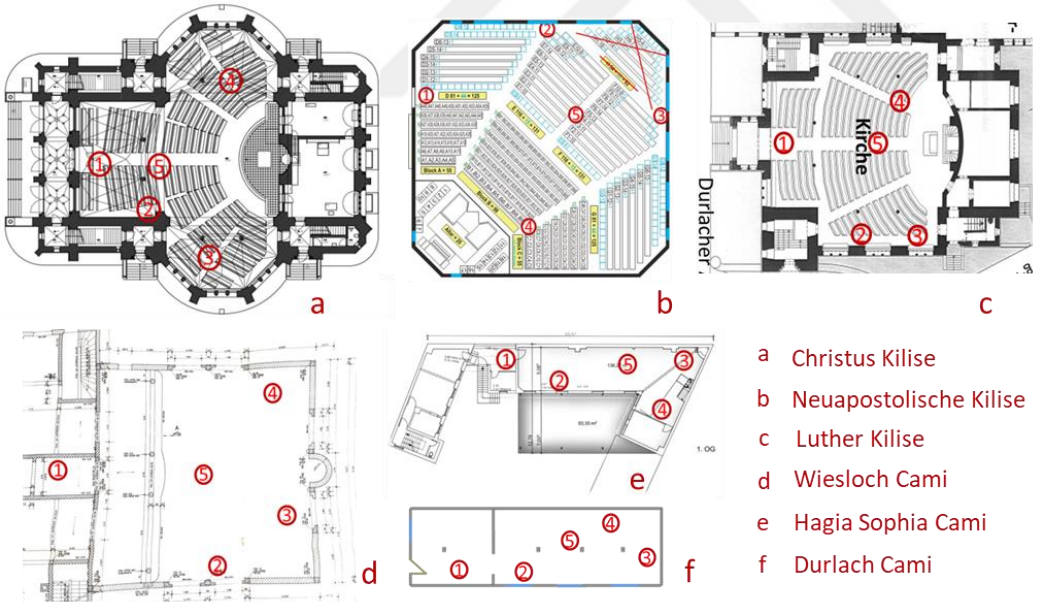
Isıl koşulların ölçümleri ve anketler binaların genellikle en çok kullanıldığı gün ve saatlerde yapılmıştır. Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün (KIT) Kullanıcı Davranışı, Memnuniyeti, Isıl Konfor ve Çevre Araştırmaları Laboratuvarı'nda (LOBSTER) ölçümler öncesinde ısıl konfor cihazları ve sensörleri kontrol edilmiştir [105]. İç ve dış hava sıcaklıkları Testo hava hızı sensörü ve Extech HT30 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bina içi ortalama ışınımsal sıcaklık ve bağıl nem değerleri Extech HT30 cihazı ile ölçülmüştür. İç hava hızı Testo 480 çok fonksiyonlu cihaz ve hava

hızı sensörü ile ölçülmüştür. Ayrıca Hobo veri kaydedici kullanılarak ibadet ve etkinliklerin başlangıcından sonuna kadar iç mekân hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçülmüştür. Şekil 4.2'de bu ölçümlerde kullanılan sensörler ve cihazlar gösterilmektedir. Şekil 4.3'te binalarda belirlenen iç ortamdaki beş farklı bölge gösterilmektedir. Ölçüm koşulları ISO 7726 standardına uygun olarak seçilmiştir [106]. Sensörlerin yerden yüksekliği 1,1 m'dir. Ölçüm bölgelerindeki ölçüm süresi 5 dakikadır.



Prob Türü	Parametre	Aralık	Sapma
Extech HT30	Ta	0 to 50 ◦C	±1.8◦F/ 1.0◦C
	RH	0 to 100 %	±3 % RH
	Tr	-30 to 550 ◦C	±4◦F / 2◦C
Testo Hava Hızı Ölçer	AV	0 to 10 m/s	±0.03 m/s
Hobo Data Logger	Ta	-20 to 70 ◦C	± 0.53°C
	RH	25 to 95 %	± 3.5%

Şekil 4.2 Isıl konfor parametreleri ve ölçüm aletleri (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem)



Şekil 4.3 Dini binalardaki ısıl konfor ölçüm noktaları

Binalarda homojen ısıl konfor koşullarının belirlenmesi amacıyla farklı yönlere bakan ibadet – etkinlik alanlarında ölçüm bölgeleri belirlenmiştir. Bölge 1 girişe yakın alandır. Bu alan kapı bölgesine yakın kullanıcıların ısıl durumlarının düzeyini belirlemek amacıyla seçilmiştir. Kullanım alanlarının farklı yön ve bölgelerinde 2., 3. ve 4. bölgeler seçilmiştir. 5. bölge ise kullanım alanlarının ortasında yapılan

ölçüm bölgesini göstermektedir. Ölçümler Bölge 5'te farklı zamanlarda iki kez yapılmıştır. İlk ölçüm etkinliğin başlangıcında, ikinci ölçüm ise etkinliğin başlamasından 30 dakika sonra tekrarlanmıştır. 5. bölgede yapılacak ölçümlerle insanların ürettiği ısı enerjisinin iç ortam sıcaklığına ve konforuna etkisi araştırılmaktadır.

Şekil 4.4'te ölçüm ve anket günlerine ait örnek görseller gösterilmektedir. Isıl konfor anketleri kullanıcıların ısıl konfor duyumlarını belirlemek amacıyla beş sorudan oluşmaktadır. Anket sorularının ayrıntılı biçimi Ek B'de gösterilmektedir. Anket çalışmaları binaların en yoğun kullanıldığı etkinlik sonunda gerçekleştirilmiştir. Etkinlik sonunda kullanıcılar yaklaşık 5 dakika içerisinde anketi yanıtlandırmıştır. Ankette öncelikle kullanıcılardan yaş, kilo, cinsiyet ve binadaki konumu hakkında bilgiler alındı. Kullanıcı katılımını artırmak ve gerçek koşullarda anlamlı cevaplar verebilmelerini sağlamak için anket soruları ve uzunlukları az sayıda tutulmuştur. İlk soru (S1) etkinlik sürecinde giydikleri kıyafetlerin detaylı seçimini yapmaktır. İkinci soruda (S2), binadaki etkinlik sırasındaki ısıl duyumlarını ısıl konfor açısından seçmeleri istendi. Seçenekler ASHRAE 55-2020 standardına göre oluşturulmuştur. Üçüncü soruda (S3) binadaki hava hızına maruz kalma, 4. soruda (S4) ibadetin başlangıcı ile bitişi arasındaki iç hava sıcaklığı farkının hissi, 5. soruda (S5) kullanıcıların binanın nemine ilişkin hisleri soruldu. Anketlere toplam 284 kullanıcı katıldı. Kullanıcıların ısıl duyuları ASHRAE 55-2020 ölçeğine göre değerlendirilmiştir. Bu ölçeğin 7 seçeneği vardır. Bu seçenekler sıcak (+3), ılık (+2), hafif ılık (+1), normal (0), hafif serin (-1), serin (-2), soğuk (-3) olarak ifade edilmektedir. Ankette kabul edilebilir gerçek ortalama oy (AMV), +1 > AMV > -1 aralıklarına göre belirlenmiştir. Anket sorularının tümünü yanıtlamayan kullanıcılar olmuştur. Bu anketler belirlenmiş ve o soru için değerlendirmeden çıkarılmıştır. Anketler Türkçe, Almanca ve İngilizce dillerinde hazırlanmıştır.



Şekil 4.4 Ölçüm ve anket günlerinden örnek görseller (1, Christus Kilisesi, 2, Neuapostolische Kilisesi, 3, Luther Kilisesi, 4, Kanuni Sultan Süleyman-Wiesloch Cami, 5, Hagia Sophia Cami, 6, Fatih-Durlach Cami)

4.2 Dini Binalardaki Isıl Konfor Ölçüm Sonuçları

Tablo 4.3 Christus kilisesinde yapılan ölçümlerin sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre en konforsuz alan 1. bölgedir. Bölgelere göre ısıl konfor parametreleri incelendiğinde giriş bölgesinde 1. bölgede hava akış rahatsızlığının olduğu görülmektedir. En konforlu bölge iç mekândaki orta bölgedir. Kullanıcıların iç ortamı doldurmasından 30 dakika sonra 5. bölgede yapılan ikinci ölçümde ise iç ortam sıcaklığının arttığı ve ısıl koşulların optimum seviyeye ulaştığı görülmektedir.

Tablo 4.3 Christus kilisesindeki ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

Christus Kilisesi_31.07.21 _10.25-11.00							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	24.11	23.91	23.98	24.09	24.6	25.66	22.98
Tr (ºC)	23.34	23.18	23.60	23.70	23.98	24.68	24.58
RH (%)	44.50	54.61	44.83	46.12	48.13	46.22	45.28
AV (m/s)	0.14	0.05	0.07	0.04	0.06	0.09	
Icl (Clo)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
PMV	**-0.65**	**-0.46**	**-0.46**	**-0.41**	**-0.26**	**0.006**	
PPD	**13.96**	**9.58**	**9.49**	**8.66**	**6.48**	**5.0009**	

Tablo 4.4 Neupostolische kilisesinde elde edilen sonuçları göstermektedir. Ölçüm sonuçlarına göre hava hızı parametresine bağlı olarak en konforsuz bölge 2. Bölge

olarak belirlenmiştir. Dış hava sıcaklığı ve kullanıcıların giysilerindeki yalıtım değerlerinin düşük olması, iç ortam ısıl konfor düzeyinin kabul edilebilir aralıkların dışında kalmasına neden olmuştur. Bu binanın PMV-PPD ısıl konfor seviyesi genel olarak kabul edilebilir konfor aralıklarının dışındadır. 5. bölgede yapılan ölçümlerde iç hava sıcaklığı, ortalama ışınımsal sıcaklık ve bağıl nem benzerdir. Ancak hava hızının artması ısıl konfor düzeyinin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca 5. bölgede yapılan iki ölçümde de iç ortam kabul edilebilir konfor aralıklarındadır.

Tablo 4.4 Neuapostolische kilisesi ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

Neuapostolische Kilisesi_01.08.21_09.02-10.00							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	22.89	22.4	22.84	23.24	23.47	23.46	19.16
Tr (ºC)	22.24	21.90	22.40	22.78	23.25	23.20	21.15
RH (%)	55.14	54.61	56.62	57.13	57.13	56.74	64.86
AV (m/s)	0.08	0.23	0.07	0.04	0.04	0.11	
Icl (Clo)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
PMV	**-0.66**	**-1.22**	**-0.64**	**-0.51**	**-0.405**	**-0.48**	
PPD	**14.36**	**36.29**	**13.73**	**10.51**	**8.41**	**9.87**	

Tablo 4.5 Luther kilisesinde yapılan ısıl konfor parametreleri sonuçlarını göstermektedir. Isıl konfor parametrelerinin sonuçları dini yapının farklı bölgelerinde yapılan ölçümlerle benzerlik göstermektedir. Bu binanın farklı bölgelerindeki ısıl koşulların seviyesi kabul edilebilir aralıkların dışında kalmıştır. Kapalı ortamdaki insan sayısının artmasıyla birlikte 5. bölgede yapılan ikinci ölçümde ısıl koşulların düzeyi kabul edilebilir aralıklara yaklaşmıştır. İnsanların kapalı ortamda yaydığı ısı, ısıl konfor düzeyini etkilemiştir.

Yapılan ölçümlerde yaz aylarında PMV-PPD indeksinin serin tarafında kiliselerin iç ortamının konforsuz olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, tavan hacminin yüksekliği ile birlikte pencerelerden giren güneş ışınımının yetersiz olması ve dış ortam için giyilen yazlık kıyafetlerin yalıtım değerinin yetersiz olması nedeniyle ölçüm sonuçlarında gözlenmiştir.

Tablo 4.5 Luther kilisesi ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

Luther Kilisesi_29.08.21_17.30-18.13							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	21.3	21.4	21.5	21.3	21.4	21.9	19.12
Tr(ºC)	20.62	20.65	20.70	20.70	20.83	21.17	18.00
RH (%)	64.25	54.61	64.23	64.37	65.42	64.85	68.82
AV (m/s)	0.07	0.05	0.03	0.07	0.07	0.06	
Icl (Clo)	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
PMV	**-0,74**	**-0.78**	**-0.70**	**-0.73**	**-0.69**	**-0.57**	
PPD	**16.70**	**17.92**	**15.34**	**16.37**	**15.16**	**11.82**	

Tablo 4.6 Ayasofya caminde yapılan ısıl konfor parametreleri sonuçlarını göstermektedir. Binada yapılan ölçüm zamanında dış hava sıcaklığının yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum iç ortamın hava sıcaklığı düzeyini etkilemiştir. Binada 1. bölge giriş alanında, 2. bölge ise iç mekânın pencere tarafındadır. 1.bölge iki binanın kesiştiği bir bölgede yer aldığı ve dış etkenlerden korunduğu için giriş bölgesindeki ısıl konfor parametreleri uygun düzeyde olmuştur. 2. bölgede pencere önündeki alan yüksek sıcaklık nedeniyle kabul edilebilir konfor aralıklarının dışındadır. 1. ve 2. bölgenin konfor parametreleri incelendiğinde hava hızı dışında benzerlik görülmektedir. Güneş ışınımından nispeten uzak olan 3. ve 4. bölgelerde iç ortam sıcaklığı daha düşüktür. Isıl koşulların seviyesi kabul edilebilir aralıklardadır. 5. bölgede yapılan ölçümlerde iç ortam sıcaklığının ve metabolizma hızının artması sonucu bu bölgenin ısıl koşulları kabul edilebilir aralığın dışındadır.

Tablo 4.6 Hagia Sophia cami ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

Hagia Sophia Cami_23.07.21_13.00-14.17							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	27.23	27.02	26.69	26.94	27.89	28.23	26.70
Tr (ºC)	26.78	26.93	25.80	26.02	27.15	27.52	28.63
RH (%)	54.80	54.61	54.89	55.88	57.09	57.23	45.00
AV (m/s)	0.15	0.04	0.04	0.06	0.05	0.06	
Icl (Clo)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	
PMV	**0.35**	**0.53**	**0.28**	**0.37**	**0.76**	**1.11**	
PPD	**7.55**	**10.90**	**6.70**	**8.00**	**17.25**	**31.33**	

Tablo 4.7 Wiesloch-Kanuni Sultan Süleyman camisinde yapılan ısıl konfor parametreleri sonuçlarını göstermektedir. Namazın başlangıcında iç mekân iklimlendirme sistemi çalıştırılmaktadır. İbadet başlangıcında sistem kapatılmıştır.

İç ortam doğal havalandırma ile havalandırılmıştır. Ölçüm sonuçları incelendiğinde 1. bölge serin bölgede kabul edilebilir ısıl konfor aralıklarında yer almaktadır. Ancak konforsuz bölgeye yakın düzeydir. 5. Bölgedeki ısıl koşulların düzeyi en konforsuz ölçüm sonucudur. Kısa sürede caminin iç mekân ısıl koşulları serin bölgeden konforsuz tarafta sıcak bölgeye geçmiştir. Bu durum, dış hava sıcaklığının yüksek olması, iklimlendirme sisteminin kapatılması ve insanların yaydığı ısı enerjisinden kaynaklanmıştır.

Tablo 4.7 Wiesloch cami ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

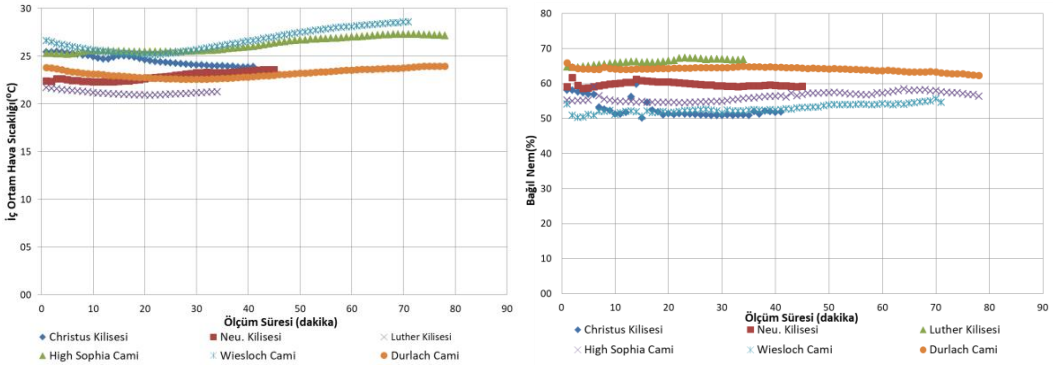
Kanuni Sultan Süleyman - Wiesloch Cami_30.07.21_13.00-14.10							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	24.74	25.1	26.7	27.7	28.4	28.9	27.40
Tr (ºC)	24.24	27.46	29.06	27.77	28.20	28.88	30.37
RH (%)	46.88	54.61	43.28	42.30	44.53	48.65	41.87
AV (m/s)	0.08	0.13	0.12	0.08	0.12	0.12	
Icl (Clo)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	
PMV	**-0.41**	**0.08**	**0.6**	**0.68**	**0.79**	**1.24**	
PPD	**8.6**	**5.1**	**12.5**	**14.89**	**18.2**	**37.69**	

Tablo 3.8 Fatih – Durlach caminde yapılan ısıl konfor parametreleri sonuçlarını göstermektedir. Dış ortam sıcaklığına göre iç ortam sıcaklığı düşüktür. Cami içindeki bölgeler arasında iç ortam sıcaklıkları benzerdir. 2. bölgede yapılan ölçümlerde hava hızının artması, ısıl koşulların 1. bölgeye göre daha konforsuz hissedilmesine neden olmaktadır. 5. bölgede yapılan ikinci ölçümde ise kullanıcıların yaydığı ısı enerjisinden dolayı iç ortam sıcaklığı artmıştır. 5. bölgedeki ikinci ölçümde, ısıl konfor düzeyi dışında, diğer bölgeler kabul edilebilir konfor aralıklarının dışındadır. 5. bölgedeki ikinci ölçümde hem iç ortam sıcaklığı hem de metabolizma hızı artmıştır. Bu durum ölçüm sonuçlarını etkilemiştir.

Tablo 4.8 Fatih – Durlach cami ısıl koşulları (Ta; hava sıcaklığı, Tr; ışınımsal sıcaklık, AV; hava hızı, RH; bağıl nem, Clo; giysi yalıtımı, Met; etkinlik düzeyi)

Fatih - Durlach Cami_06.08.21_13.00-14.25							
Parametre Ort. / Bölge	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge _ 1.Değer	5. Bölge _ 2.Değer	Dış Ortam Koşulları
Ta (ºC)	23.03	22.74	22.81	22.81	23.11	23.98	24.07
Tr (ºC)	22.17	22.28	22.04	22.12	22.54	23.40	27.18
RH (%)	62.12	54.61	62.70	62.68	63.00	61.74	49.83
AV (m/s)	0.07	0.19	0.04	0.06	0.04	0.04	
Icl (Clo)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	
Met	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	
PMV	**-0.85**	**-1.27**	**-0.9**	**-0.88**	**-0.76**	**-0.009**	
PPD	**20.26**	**39.03**	**22.21**	**21.76**	**17.35**	**5.001**	

Şekil 4.5'te 6 dini yapıda etkinlik sırasında ölçülen sıcaklık ve bağıl nem değerleri gösterilmektedir. Kilise ve camilerde yapılan ölçümlerde iç mekân sıcaklıklarının zamanla arttığı görülmüştür. İç ortamdaki bağıl nem sabit kalmıştır. Camilerde kiliselere göre iç mekân sıcaklıklarındaki artış daha belirgindir. Değerlendirmelerde dış hava sıcaklığı da önemlidir. İki camide ölçüm günü ve saatinde ortalama dış hava sıcaklığı yaklaşık 27 °C'dir. Ancak Durlach cami ölçüm gününde dış hava sıcaklığı daha düşüktür. Bu da iç ortamın serin tarafta konforsuz olmasına neden olmuştur. Kiliselerde ölçüm gün ve saatlerinde ortalama dış hava sıcaklığı 20-21°C civarındadır. Bu durum binaların iç ortamlarındaki sıcaklık değişimlerine de yansımaktadır.

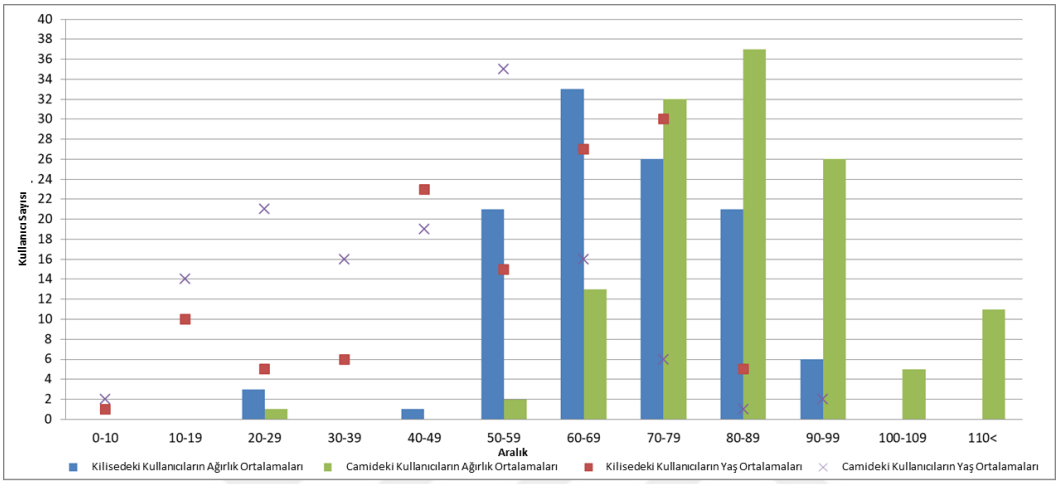


Şekil 4.5 Dini binalardaki etkinlik süresince 5. bölgedeki iç ortam hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri

4.3 Dini Binalardaki Kullanıcıların Isıl Konfor Anket Sonuçları

Camilerde ankete katılan kullanıcıların tamamı erkektir. Kiliselerde anketlere erkek ve kadın kullanıcılar katılmıştır. Christus kilisesinde %44, Neupostolische kilisesinde %47, Luther kilisesinde %37,5 erkek katılımcı vardır. Şekil 4.6'da kilise

ve camilerde ankete katılan kullanıcıların yaş ve kilo dağılımları gösterilmektedir. Grafiğe göre ankete katılan camideki kullanıcıların ortalama kilosu kilisedeki kullanıcılara göre daha yüksektir. Camilerde sadece erkeklerin bulunması, kiliselerde ise ayrıca kadın katılımcıların bulunması bu durumun oluşmasında etkilidir. Kilisedeki kullanıcıların yaş ortalaması camideki kullanıcılara göre daha yüksektir.



Şekil 4.6 Dini binalardaki ankete katılan kullanıcıların yaş ve kilo dağılımı

Tablo 4.9'da anketlere katılan kullanıcıların sorulara göre verdikleri yanıtların ortalamaları gösterilmektedir. Binalardaki kullanıcı sayısına göre anketlere katılan kullanıcı sayısı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Kullanıcıların giysi yalıtım değeri yaz mevsimi koşullarına ve dış hava sıcaklığına göre değişkenlik göstermektedir. Isıl konfor değerlendirmeleri, gerçek koşullardaki giysi yalıtım değeri dikkate alınarak yapılmıştır. Kullanıcıların bina içindeki bölgelere göre ısıl duyumlarının değerlendirilmesi bazı bölgelerde yeterli sayıda katılımcının bulunmamasından dolayı yapılamamıştır. Beş dini binada (Christus Kilisesi hariç) katılımcıların çoğunluğu hava akışına maruz kalmadıklarını ifade etmiştir. Christus kilisesinde katılımcıların çoğunluğu hava akışına maruz kaldıklarını belirtmiştir. Ölçümlerde kişi sayısına ve zamana bağlı olarak iç ortam hava sıcaklığının arttığı belirlendi. Kullanıcıların yaklaşık %35-40'ı aktivitenin başlangıcına göre iç mekân hava sıcaklığında bir artış hissetti. Katılımcılar dini binaların iç mekân havasının nemini normal hissettiler.

2. Soruya verilen yanıtların ortalamasına göre kullanıcılar ortamı genel olarak normal düzeyde konforlu hissetmiştir. Ancak kullanıcılara göre kiliseler arasında en konforsuz olan yapı Luther Kilisesi, camiler arasında ise Durlach camiidir.

Kullanıcıların çoğu iç mekânda hava akışına maruz kalmamıştır, ancak iç hava sıcaklığında etkinlik başlangıcı ile bitişi arasında bir fark hissettiğini belirtmektedir. Kullanıcılar iç mekân bağıl nemini normal düzeyde hissettiler. Cami kullanıcılarının tamamı erkek, kilise kullanıcılarının çoğunluğu ise (%56) kadındır. Ankete katılan kullanıcıların çoğunluğu etkinlik sırasında bina orta alanlarında olduklarını belirtmiştir. Cami (26,05 ^{o}C) ve kilise (20,42 ^{o}C) ölçümlerinin yapıldığı günlerde dış hava sıcaklıkları arasında yaklaşık 6 ^{o}C fark vardır. Bu durum kullanıcıların giysi yalıtım değerlerine de yansımıştır. Isıl konfor açısından her iki bina tipindeki kullanıcılar, iç ortamı soğuk bölgede konforlu bulmuştur.

Tablo 4.9 Binalardaki kullanıcıların anket sorularına yanıtları (Cinsiyet: 0-Erkek, 1-Kadın; Konum: 0-kapı yakını, 1-pencere yakını, 2-orta alan, 3-duvar yakını; S2: AMV verisi; S3-4: 0-Evet, 1-Hayır, S5: 0-kuru, 1-normal, 2-nemli)

Bina Türü	**Kullanıcı Sayısı**	**Cinsiyet Oranı (0,1)**	**Kullanıcıların Yanıt Ortalamaları**							
			Yaş	**Kilo**	**Konum (0,4)**	**S1 (clo)**	**S2**	**S3 (0,1)**	**S4 (0,1)**	**S5 (0,2)**
Christus Kilisesi	**61**	47% - 53%	61.9	71.9	1.74	0.58	**0.28**	0.39	0.68	1.05
Neu. Kilisesi	**38**	45% - 55%	43.9	67.8	1.86	0.54	**-0.23**	0.78	0.63	1.00
Luther Kilisesi	**33**	37% - 63%	65.5	66.1	1.55	0.74	**-0.77**	0.82	0.63	1.06
H. Sophia Cami	**32**	100% - 0%	36.4	69.1	1.66	0.49	**0.06**	0.73	0.55	1.15
Wiesloch Cami	**77**	100% - 0%	46.7	88.0	1.66	0.48	**-0.12**	0.80	0.63	1.00
Durlach Cami	**43**	100% - 0%	41.3	83.9	1.87	0.49	**-0.62**	0.79	0.78	1.09
Kilise	**132**	44% - 56%	54.91	68.7	1.75	0.62	**-0.24**	0.68	0.65	1.03
Cami	**152**	100% - 0%	43.61	84.6	1.71	0.48	**-0.22**	0.77	0.63	1.03

Tablo 4.10'da yaş, kilo aralığı ve cinsiyete göre kullanıcıların anketlere verdiği yanıtların ortalamaları gösterilmektedir. Ankete katılan kullanıcıların yaş aralığı arttıkça duyumsadıkları ısıl his, negatif bölgeye doğru konforsuzluğa doğru ilerlemektedir. Bu durum metabolizma hızı ile insan vücudunun hissettiği ısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. En yüksek yaş aralığında (S3) hava akışına maruz kalma hissinin yüksek olduğu görülmektedir. Sorulan diğer sorularda ise yaş aralıklarına göre doğrusal bir ilişki kurulamamaktadır. Kilo aralıkları arttıkça erkek yoğunluğu da artmaktadır. Kullanıcıların yaş ortalamasının 50 kg'ın altındaki kullanıcılar pozitif bölgede kendilerini konforlu hissetmiştir. Ayrıca 100 kg ve üzeri

kullanıcılar da pozitif bölgede kendilerini konforlu hissetmiştir. Bunlara göre ağırlık ve yaş faktörlerinin ısıl duyuma etkisi görülebilmektedir. Cinsiyete göre değerlendirildiğinde ise her iki grup da negatif bölgede kendilerini konforlu hissetmişlerdir. Erkek ve kadın katılımcıların çoğunluğu herhangi bir sıcaklık farkı veya hava akışına maruz kalma hissetmemiştir.

Tablo 4.10 Kullanıcıların yaş, cinsiyet ve kilo açısından yanıt ortalamaları (Cinsiyet: 0-Erkek, 1-Kadın; S2: AMV verisi; S3-4: 0-Evet, 1-Hayır, S5: 0-Kuru, 1-Normal, 2-Nemli)

Yaş aralığı	Kilo aralığı	Cinsiyet (0,1)	S2	S3 (0,1)	S4 (0,1)	S5 (0,2)
20>	59.05	0.19	**0.26**	0.74	0.67	0.89
40> ≥20	79.77	0.08	**-0.04**	0.72	0.60	1.06
60> ≥40	82.65	0.26	**-0.17**	0.74	0.59	1.07
80> ≥60	74.84	0.41	**-0.53**	0.71	0.68	0.97
96≥ ≥80	67.75	0.50	**-0.75**	0.86	0.60	0.88
18.80	50>	0.20	**1.60**	1.00	0.20	0.80
50.43	60> ≥50	0.87	**-0.22**	0.65	0.57	0.96
48.22	70> ≥60	0.52	**-0.63**	0.70	0.70	1.00
51.33	80> ≥70	0.19	**-0.38**	0.73	0.63	1.02
50.40	90> ≥80	0.07	**-0.05**	0.78	0.62	0.98
51.42	100> ≥90	0.00	**-0.09**	0.75	0.65	1.06
48.00	≥100	0.00	**0.29**	0.82	0.59	1.18
46.35	81.88	0.00	**-0.19**	0.76	0.64	1.02
56.26	63.05	1.00	**-0.36**	0.65	0.64	1.01

4.4 Anket Sonuçlarına göre Konfor Modellerinin Karşılaştırması

Bina türlerine göre kullanıcıların ısıl duyum anketi sonuçları ve indeks sonuçları Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Kilise kullanıcılarının ortalama yaşı cami kullanıcılarından 11,3 yaş daha yüksektir. Diğer yönden cami kullanıcılarının kilosu ise kilisedekilerden 15,91 kg daha fazladır. Ağırlıktaki bu artış camilerdeki erkek kullanıcı sayısından kaynaklanmaktadır. PMV ortalama sonuçları, kilise ve cami kullanıcılarının AMV ortalama sonuçlarına en uzak ısıl konfor modelidir. Ancak kullanıcı algısına en yakın indeks ortalaması kiliselerde ATHB, camilerde ise aPMV indeksleridir.

Tablo 4.11 Bina türlerine göre konfor modellerinin ortalamaları (Cinsiyet: 0-Erkek, 1-Kadın)

Bina türü	Yaş	Kilo	Cinsiyet	Konum (0,4)	AMV	PMV	aPMV	ATHB
Kilise	54.91	68.70	0.56	1.75	-0.24	-0.57	-0.38	-0.14
Cami	43.61	84.61	0.00	1.71	-0.22	0.28	-0.18	0.14

Isıl konfor model karşılaştırmaları, kullanıcıların gerçek koşullarda anketlere verdikleri yanıtlara göre yapılmıştır. PMV, aPMV ve ATHB ısıl konfor modellerinin tahminleri, dini yapılarda kullanıcıların AMV değerlerine göre regresyon analizi aracılığıyla karşılaştırıldı. Ölçülen ısıl konfor parametrelerine göre CRAN(R) package programındaki Comf paketi kullanılarak ısıl konfor modelleri hesaplanmıştır. R package programı açık erişim kod tabanı destekli bir programdır [96]. Regresyon analizi ile konfor modellerinin gerçek koşullara göre anlamlılığı incelenmiştir.

Tablo 4.12 Dini yapı türü - bölgelere göre ısıl konfor modelleri ve AMV değerleri

Bina Türü	Konfor Modeli	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge 1. Değer	5. Bölge 2. Değer	Ort.
Christus Kilisesi	PMV	-0.65	-0.46	-0.46	-0.41	-0.26	0.006	-0.37
	aPMV	-0.51	-0.39	-0.38	-0.35	-0.24	-0.006	-0.31
	ATHB	-0.14	-0.06	-0.06	-0.04	0.02	0.13	-0.03
	AMV	0.33	-0.12	0.38		0.22		0.28
Neua. Kilisesi	PMV	-0.66	-1.22	-0.64	-0.51	-0.405	-0.48	-0.65
	aPMV	-0.26	-0.32	-0.26	-0.23	-0.21	-0.23	-0.25
	ATHB	-0.11	-0.35	-0.10	-0.05	0.00	-0.03	-0.11
	AMV	-0.2	-0.4	-0.6		-0.13		-0.23
Luther Kilisesi	PMV	-0.74	-0.78	-0.7	-0.73	-0.69	-0.57	-0.70
	aPMV	-0.6	-0.63	-0.58	-0.6	-0.57	-0.48	-0.58
	ATHB	-0.31	-0.33	-0.29	-0.31	-0.29	-0.23	-0.29
	AMV	-0.5	-1.0	-1.25		-0.94		-0.77
Hagia Sophia Cami	PMV	0.35	0.53	0.28	0.37	0.76	1.11	0.57
	aPMV	0.08	0.1	0.08	0.09	0.1	0.11	0.09
	ATHB	0.26	0.33	0.23	0.26	0.42	0.55	0.34
	AMV	-0.6	-0.85	0.57		0.41		0.06
Wiesloc h Cami	PMV	-0.41	0.08	0.6	0.68	0.79	1.24	0.50
	aPMV	-0.11	0.19	-0.2	-0.19	-0.18	-0.16	-0.11
	ATHB	-0.07	0.13	0.34	0.37	0.42	0.59	0.30
	AMV	-0.42	-0.16	0.06		-0.11		-0.12
Durlach Cami	PMV	-0.85	-1.27	-0.9	-0.88	-0.76	-0.09	-0.79
	aPMV	-0.58	-0.77	-0.61	-0.61	-0.55	-0.009	-0.52
	ATHB	-0.21	-0.39	-0.23	-0.23	-0.18	0.03	-0.20
	AMV	-0.77	-0.44	-0.88		-0.62		-0.62

Tablo 4.12 dini yapılara ve bölgelere göre tahmin edilen ve ölçülen ortalama oyları göstermektedir. Tablo 4.13'te tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki

korelasyon ve regresyon analizinin sonuçları gösterilmektedir. Regresyon analizi, gerçek ve tahmin edilen ortalama oylar arasında bir denklem ve korelasyon katsayısı değerleri ile sonuçlanır. Bu denklemlerde y değeri kullanıcı algısını, x değeri ise konfor modelini temsil etmektedir. Isıl konfor modelleri ile AMV değerleri arasındaki ilişki %25-35'tir. Tablo 4.13'ten elde edilen denklemler şu şekilde ifade edilir:

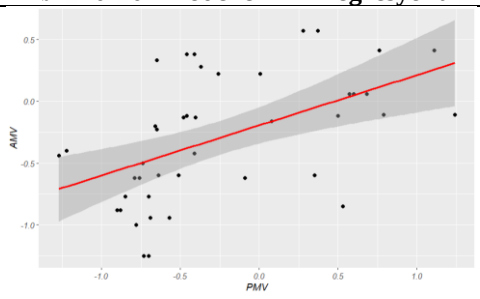
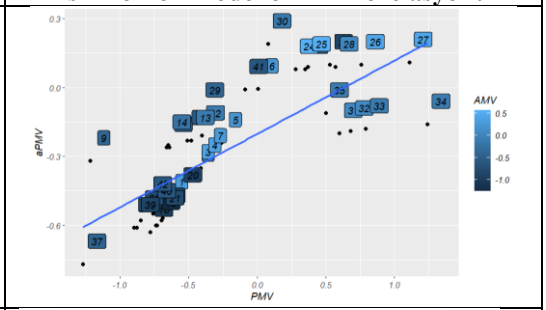
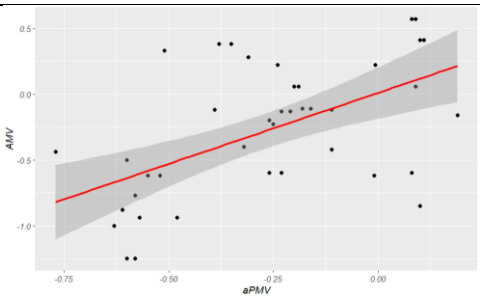
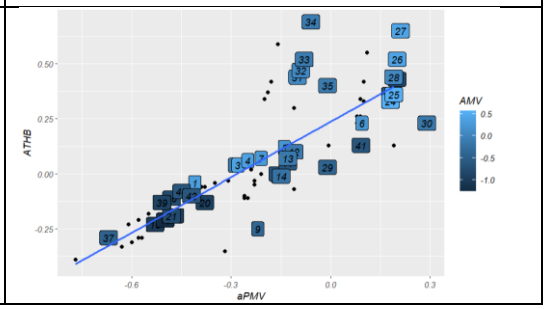
AMV = PMV*0.40 - 0.19 R-squared = 0.26 p-value: 0.0004 (4.1)

AMV = aPMV*1.07 + 0.008 R-squared = 0.31 p-value: 0.0001 (4.2)

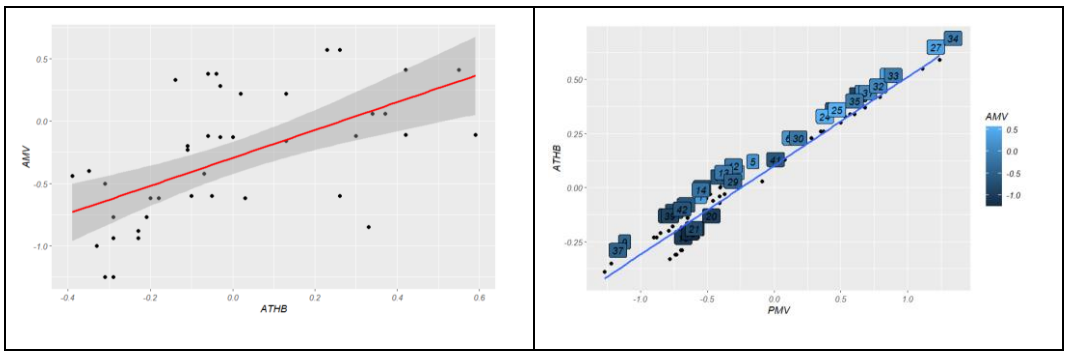
AMV = ATHB*1.11 - 0.29 R-squared = 0.35 p-value: 3.402e-05 (4.3)

Denklem (4.1)'e göre PMV modeli, dini yapı kullanıcılarının normal (0) olarak algılaması durumunda daha sıcak bir sonuç göstermektedir. Benzer bir durum denklem (4.3)'te de görülmektedir. Başka bir ifadeyle kullanıcılar, denklem (4.1) ve (4.3)'te ısıl konfor modellerine göre ortam kullanıcılar tarafından daha soğuk algılanmıştır. ATHB modelinin sonuçları kullanıcı algısına PMV ve aPMV'den daha yakındır.

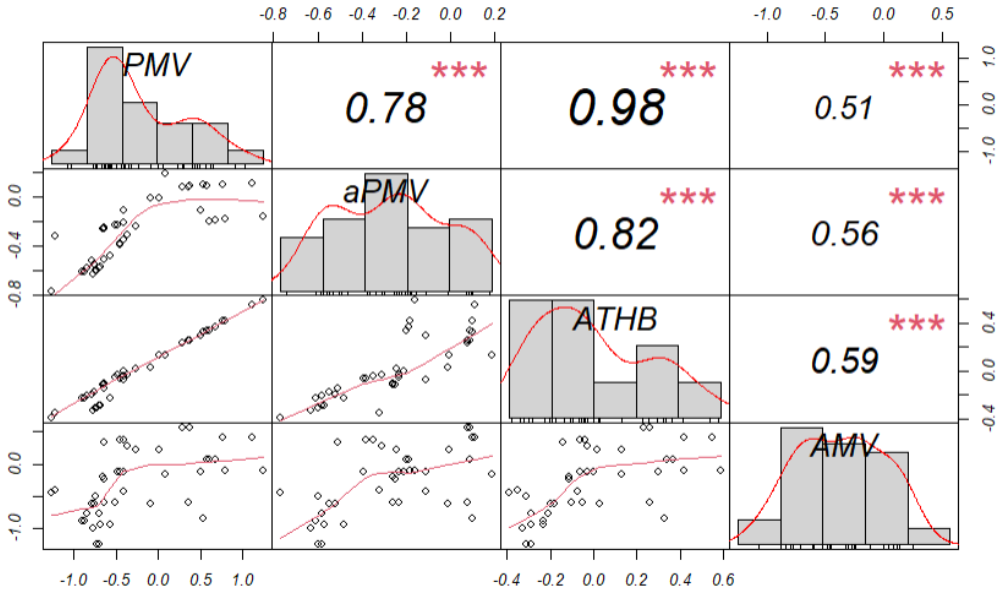
Tablo 4.13 Isıl konfor modellerinin birbirlerine göre regresyon ve korelasyonları

Isıl Konfor Modellerinin Regresyonu	Isıl Konfor Modellerinin Korelasyonu
	
	

Tablo 4.13 Isıl konfor modellerinin birbirlerine göre regresyon ve korelasyonları (devamı)



Tablo 4.13'te ısıl konfor indekslerinin birbirleriyle korelasyonu gösterilmektedir. İndeksler arasında doğrusal ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır. ATHB ve PMV indekslerinin AMV ile korelasyon grafiğinde sapma aralığı oldukça dardır. Şekil 4.7'de korelasyon katsayıları ve ısıl konfor indekslerinin dağılımı gösterilmektedir. Katsayılar incelendiğinde ATHB indeksinin PMV indeksi ile korelasyon katsayısı 0,98, aPMV endeksi ile ise 0,82 olarak görülmektedir. aPMV modelinin PMV indeksi ile korelasyon katsayısı 0,78'dir. AMV endeksine göre ATHB indeksi en yüksek korelasyona sahipken, aPMV ve PMV endeksleri orta düzeyde korelasyona sahiptir. İndeks değişkenleri birbirleriyle karşılaştırıldığında değişkenler arasındaki ilişkinin genel olarak ATHB indeksi ile daha güçlü korelasyona sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7 Isıl konfor modellerinin korelasyon katsayısı ve değerlerin dağılımı

4.5 Isı Konfor Modelleri ile ilgili Verilerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde elde edilen veriler ışığında, yapılan analizlerde yeni tasarlanan ve mevcut kilise ve camilerin tasarımına katkı sağlayacak bulgular elde edilmiştir. Kiliselerin iç mekânlarının yüksekliği, pencerelerden giren güneş ışınımının yetersiz olması ve iç ortam için yazlık kıyafetlerin ince olması ölçüm günlerinde ortamın konforsuz bir şekilde ölçülmesine neden olmuştur. Dış hava sıcaklığının yüksek olduğu günlerde camilerin iç ortamı sıcak bölgede konforsuz çıkmıştır. Öte yandan dış ortamın serin olduğu günlerde iç ortam soğuk tarafta konforsuzdur. Hem kiliselerde hem de camilerde genellikle etkinlik süresi ilerledikçe iç mekân hava sıcaklığı artmıştır. Bu durum ısıl koşulların düzeyinde değişikliğe neden olmuştur. Bu durum havalandırılan binaların dış iklim koşullarından doğrudan etkilendiği görülmektedir.

Kalabalık insan topluluklarının belirli bir süre kullandığı dini yapı ortamlarında zamanla iç ortam hava sıcaklığı artmaktadır. Bu iç ortam ısıl koşulların seviyesini etkilemektedir. Ancak bağıl nem ve iç hava hızı benzer seviyelerde kalmıştır. İç mekân koşullarının zamanla rahatsız edici bir durum yaratmaması için pasif (havalandırma koridorları – yönlendirme vb.) ve aktif tasarım (iklimlendirme sistemleri vb.) parametreleriyle önlem alınmalıdır.

Dini yapılarda giriş holü bulunması ve girişin farklı etkenlerle korunması, iç ortamın dış çevre koşullarından doğrudan etkilenmesini azaltmaktadır. Bu durum giriş bölgesinde oturan kullanıcıların ısıl konforsuzluk duyumunu en aza indirebilmektedir. Pencere camı tipinin seçilmesi ve şeffaf alanlarda güneş kontrol elemanlarının kullanılması (özellikle geniş pencereli binalarda), yaz aylarında dini binaların iç mekân ısıl koşullarının güneş enerjisinden kontrollü bir şekilde korunmasını mümkün kılacaktır.

Bu bölümdeki çalışma hesaplamalarında ısıl konfor parametrelerinden biri olan giysi yalıtım değeri, etkinlik sırasında giyilen kıyafetlere göre belirlendi. Standartta yer alan değerler ile kullanıcıların belirttiği giysi yalıtım değerleri birbirine çok yakındır. Ancak sonuçların doğruluğunu artırmak için hesaplamalarda gerçek koşulların dikkate alınması önemli bir girdidir.

Dini yapılar birçok kullanıcının aynı anda ibadet etmesine olanak sağlayan kamu yapılarıdır. Bina kapasitelerine göre bu çalışmada nispeten az sayıda katılımcı

vardır. Bu durum pandemi döneminin kısıtlamalarından da kaynaklanmaktadır. Gelecekte daha fazla kullanıcının aynı anda gerçekleştirdiği etkinlikler sonrasında ölçüm ve anket çalışmaları yapılarak analizler geliştirilmelidir. Bu, sonuçların anlamlılığına ve güvenilirliğine katkıda bulunacaktır. Ayrıca bir mevsimde ve bir bölgede yapılan çalışmaların farklı mevsim koşullarında ve farklı coğrafyalarda yapılması gerekmektedir. Modeller daha fazla veriye göre karşılaştırılmalı ve kontrol edilmelidir. Farklı boyutlara sahip farklı bina geometrileri ve tipleri için ısıl konfor koşulları açısından daha fazla çalışma yapılmalıdır.

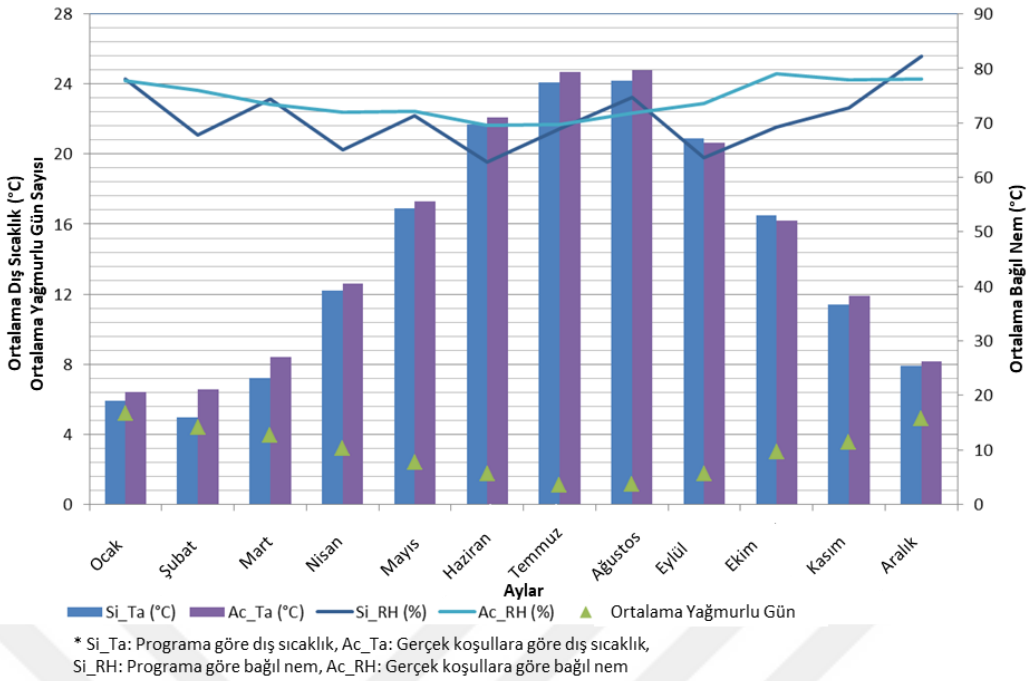
Analiz sonuçları incelendiğinde yaş, cinsiyet ve kilonun ısıl konfor hissi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Dini yapılar, kent merkezinde yer almakla birlikte, farklı bölgelerde sanayi, eğitim alanları, farklı yerleşim alanlarında olabilmektedir. Bu nedenle dini yapılara gelen kullanıcıların profil ortalamaları belirlendikten sonra dini yapıların ısıtma ve soğutma sistemlerinin performansları ağırlıklı olarak bu kişilere göre düzenlenmelidir. Bu, kullanıcıların ısıl konfor hissini kabul edilebilir bir seviyeye çıkarırken aynı zamanda enerji tüketiminden de tasarruf sağlanmasını olanaklı kılacaktır. Örneğin bir eğitim bölgesine veya endüstriyel tesise yakın bir dini yapı için tüketilen enerji miktarı, yaş ortalaması yüksek olan insanların yoğun olarak yaşadığı bir yerleşim bölgesinde tüketilen enerji miktarından farklı olabilir.

Tez çalışmasının bu bölümünde ısıl konfor modelleri ile kullanıcıların ısıl duyumu karşılaştırılmıştır. Isıl konfor modelleri belirli sınırlılıklarda (kişi sayısı, yaş aralığı, iklim, coğrafya vb.) oluşturulmaktadır. Ancak gerçek koşullarda farklı ve dinamik özellikler (iklim değişikliği, ısıl geçmiş, kişi ve cinsiyet farklılıkları vb.) bulunmaktadır. Bu nedenle binaların iç ortam ısıl koşulları düzenlenirken hem standartlardaki koşullar hem de kullanıcıların ısıl algıları dikkate alınmalıdır. Böylece gerçek ortamda ısıl koşulların konfor düzeyi artırılacaktır. Tez çalışmasının bu aşamasında bina tipi, kullanıcı sayısı, iklim, coğrafya ve ülke çeşitliliği artırılarak mevcut ısıl konfor modellerinin geliştirilmesi gerektiği gösterilmiştir.

5
MEVCUT CAMİ VERİLERİ İLE SİMÜLASYON PROGRAMININ DOĞRULANMASI

5.1 Mevcut Caminin Belirlenmesi ve Gerçek Verilerin Toplanması

Türkiye Cumhuriyeti Diyanet İşleri Başkanlığı'nın 2021 verilerine göre Türkiye'de 89.817 cami bulunmaktadır [66]. Bu camilerin yaklaşık %25'i İstanbul'un da bulunduğu Marmara Bölgesi'nde bulunmaktadır. İstanbul 3554 adet ile Türkiye'nin en fazla cami sayısına sahip şehridir. Programın doğrulanması için seçilen mevcut cami (Hz. Ali Cami), Türkiye'nin ılıman nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul ilinde yer almaktadır. İstanbul'un yıllık ortalama sıcaklığı 15,8 ^{o}C, ortalama güneşlenme süresi (saat) 1,5, aylık ortalama yağış miktarı (mm) 672,8, ortalama yağışlı gün sayısı 115,2'dir [70]. Türk Standardı (TS) 825'e göre İstanbul iklim haritasında 2. Bölgede yer almaktadır [85]. Köppen iklim sınıflandırmasına göre kışları ılıman, yazları çok sıcak ve kurak (Csa) olan bir iklim olarak sınıflandırılmaktadır [107]. İstanbul'daki camilerin doğrultusu Mekke'ye, Arabistan'a yönlendirilmelidir. Bu durum camilerin yaklaşık 146,7° açıyla yönlendirilmesini gerektirmektedir. Şekil 5.1'de İstanbul'un 1987-2017 yılları arasındaki iklim verileri gösterilmektedir. Ayrıca simülasyon yazılımının iklim verileri de şekilde belirtilmektedir. Gerçek veriler ile simülasyon verileri karşılaştırılmıştır. Dış ortam ortalama sıcaklık verileri birbirine çok yakındır. Ortalama bağıl nem değerleri aylara göre değişiklik göstermektedir.

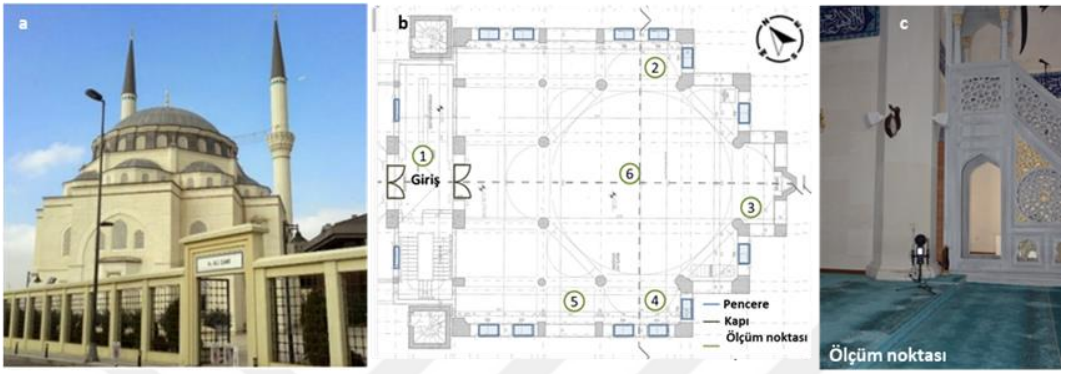


Şekil 5.1 1987 – 2017 arasındaki İstanbul ortalama iklim verileri

Hz. Ali Cami 2012 yılında betonarme konstrüksiyon ile tek kubbeli formda inşa edilmiştir. Caminin ısıtma ve soğutma sistemi, halı altında elektrikle çalışan yerden ısıtma sistemi ve duvar önlerinde döşeme tipi split klimalardan oluşmaktadır. Camide 220 m^2 halı altında elektrikle çalışan yerden ısıtma sistemi ve 11 adet radyatör tipi split klima bulunmaktadır. Caminin yerden ısıtma sistemi, ısıtma döneminde namaz vaktinden 30 dakika önce devreye girmektedir. Split klimalar genellikle cuma günleri ve iç mekân koşullarına bağlı olarak çalıştırılmaktadır. Pencere sistemi iç ortamın doğal olarak havalandırılmasına olanak sağlar. Tablo 5.1 mevcut caminin fiziksel ve HVAC sistem özelliklerini göstermektedir. Yapı kabuğunun duvarları 40 mm taş kaplama, 50 mm hava boşluğu, 250 mm gazbeton, 50 mm hava boşluğu, 250 mm gazbeton, 30 mm iç sıva ve 10 mm alçı sıvadan oluşmaktadır. Pencerelerde 16 mm hava boşluklu kaplamasız çift cam bulunmaktadır. Caminin duvar/pencere oranı (saydamlık oranı-SO) %8,5'tir.

Tablo 5.1 Hz. Ali Caminin HVAC sistem ve fiziksel özellikleri

Cami İsmi	Kullanım Türü	Fiziksel Özellikler			HVAC Sistem Bilgisi			
		Alan	Ka-pasite	SO	U Value (W/m^2K)	Tür	Kullanım	Kontrol
Hz. Ali Cami	Günlük - Cuma	401,25 m^2–Harim 64,38 m^2 – Giriş Bölümü	605 Kullanı cı	% 8,5	1,29-pencere 0,69-duvar	Split Klima Yerden Isıtma	İbadetten 30 dk önce başlangıç	-



Şekil 5.2 Mevcut caminin dış ortam görseli, zemin kat planı ve ölçüm noktası

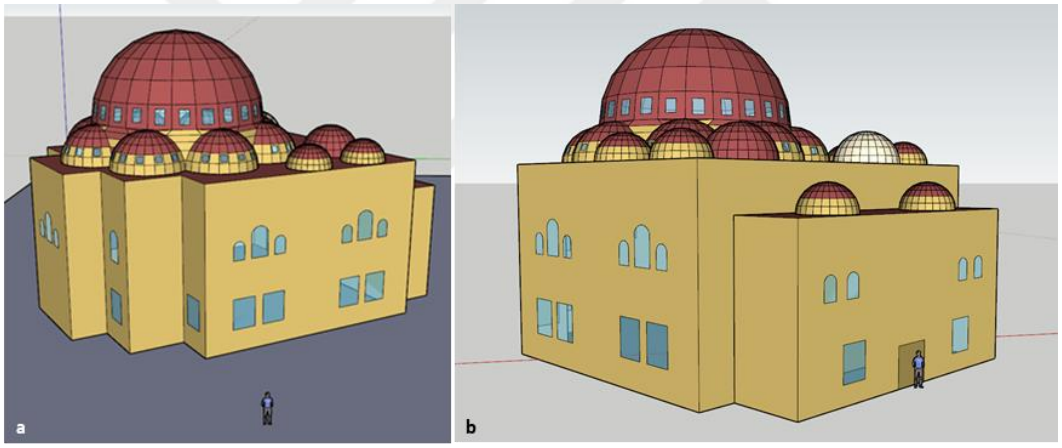
Şekil 5.2 mevcut caminin dış ortam görüşünü (a) ve kat planını (b) göstermektedir. Ayrıca şekil 5.2'de örnek ölçüm görseli bulunmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda, mevcut caminin ısıl konfor düzeyini belirlemek amacıyla, yönlere bağlı olarak üç farklı mevsimde altı farklı noktada ısıl konfor ölçümleri yapılmıştır [17], [108]. Ölçümlerde Testo 480 çok fonksiyonlu ısıl konfor ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama ışınımsal sıcaklık ve hava hızı için probları vardır. Ayrıca giysi yalıtım değeri ve aktivite düzeyi parametreleri tanıtıldığında cihaz, iç ortamın ısıl konfor düzeyini göstermektedir.

Tablo 5.2'de programa girilen namaz vakitleri ve kullanıcı yoğunluk bilgilerini gösterilmektedir. Tezin diğer aşamalarında namaz vakitleri ve cami personelinden öğrenilen doluluk yoğunluğu senaryoların programlarında kullanılacaktır. Tabloda namaz vakitleri ayın ilk gün vakitlerini ifade etmektedir. Cami yılın tüm Cuma günleri öğle namazı sırasında tam doluluğa ulaşmaktadır. Ayrıca Ramazan ayında teravih namazı ve cenaze namazı sırasında da caminin yoğunluğu artmaktadır. Bu durumlar program girdilerine işlenmiştir. Camideki ısıtma ve soğutma ekipmanları aralıklı olarak çalıştırılmaktadır. Caminin kullanımına, ısıtılmasına ve soğutulmasına ilişkin diğer tüm bilgiler simülasyon programına detaylı olarak

işlenmiştir. Şekil 5.3 (a–b) mevcut caminin 3D program görsellerini göstermektedir.

Tablo 5.2 Mevcut caminin kullanıcı yoğunluğu ve yaklaşık namaz vakitleri [64]

Aylar / İbadet Zamanı	Sabah namazı	Gün doğumu	Öğle namazı	İkindi namazı	Akşam namazı	Yatsı namazı
Ocak	06:51	08:29	13:08	15:29	17:47	19:20
Şubat	06:40	08:14	13:18	16:00	18:22	19:51
Mart	06:07	07:38	13.17	16:25	18:56	20:22
Nisan	05:12	06:47	13:08	16:43	19:30	20:59
Mayıs	04:15	06:02	13:02	16:53	20:01	21:41
Haziran	03:31	05:34	13:02	17:02	20:31	22:25
Temmuz	03:30	05:35	13:08	17:09	20:41	22:38
Ağustos	04:10	05:59	13:11	17:06	20:21	22:04
Eylül	04:55	06:30	13:05	16:45	19:37	21:08
Ekim	05:31	07:00	12:54	16:12	18:47	20:12
Kasım	06:03	07:34	12:48	15:36	18:00	19:28
Aralık	06:33	08:09	12:54	15:18	17:37	19:09
Kullanıcı Yoğunluğu (%)	10	10	10	15	15	15
Süre (dakika)	20	-	30	25	20	30



Şekil 5.3 Mevcut caminin 3D görselleri

5.2 Simülasyon programının mevcut caminin gerçek verileriyle doğrulanması

Mevcut caminin yapısal özellikleri ve kullanım çizelgeleri simülasyon programında gerçek koşullar dikkate alınarak detaylı bir şekilde işlenmiştir. Öncelikle programda yapı, şekil ve boyut özelliklerine göre 3D model oluşturuldu. Enerji analiz programındaki iklim ve konum verilerinden başlanarak, gerçek veriler dinamik bina enerji simülasyon programına girilmiştir. Bilgisayar programında kullanım planı, ısıtma ve soğutma programı, aydınlatma, elektrikli ekipman bilgileri gibi kullanım verileri işlenmiştir. Giysi yalıtım değeri kış mevsimi için 1,1

clo, ilkbahar mevsimi için 0,9 clo, yaz mevsimi için ise 0,5 clo olarak belirlenmiştir. Etkinlik düzeyi programa 1.3 met olarak girildi. Ölçümler hafta içi öğle namazı vaktinde yapılmıştır. Tablo 5.3'te belirtilen simülasyon sonuçları, ölçüm zamanlarındaki zaman aralığına göre gösterilmektedir. Cami hem ölçüm sonuçlarında hem de simülasyon sonuçlarında kabul edilebilir konfor aralıklarının dışında kalmıştır. Gerçek verilerle simülasyon sonuçları incelendiğinde bazı değerlerde farklılıklar olsa da sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kış mevsimi ölçümlerinde ortalama ışınım sıcaklığı, bağıl nem ve PMV değerlerinde ölçüm ve simülasyon ortalama değerlerine göre farklılık görülmektedir. Ancak bu değerler arasındaki farklar simülasyon programında iklimsel dinamik koşullardan ve gerçek koşullardan kaynaklanabilmektedir. Bu fark standartta belirtilen sınır değerler arasındadır [109].

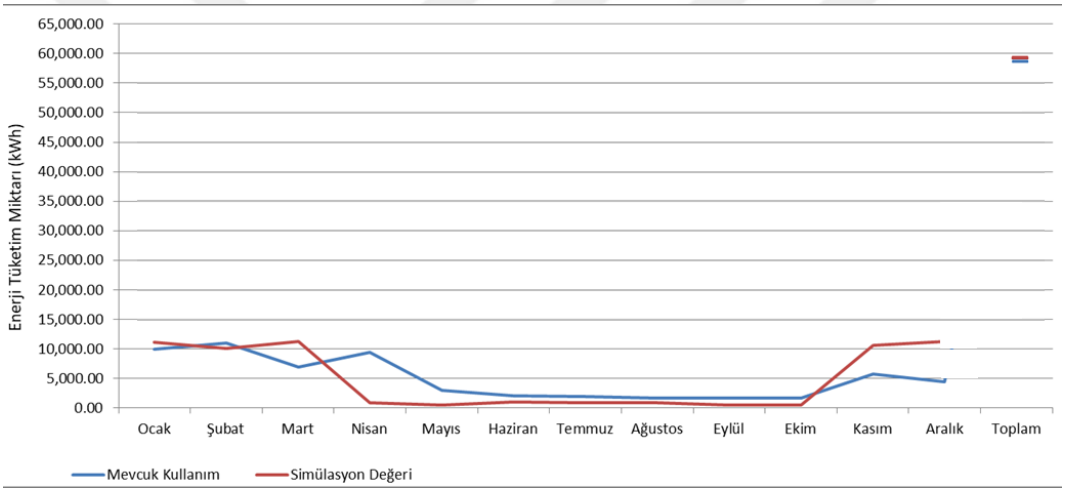
Tablo 5.3 Mevcut caminin ölçüm ve simülasyon sonuçları

Parametre / Mevsim	**Ortalama Ölçüm Değeri**			**Ortalama Simülasyon Değeri**		
	Kış 19-23 Aralık	**Bahar 10-14 Nisan**	**Yaz 28-30 Haziran**	**Kış 19-23 Aralık**	**Bahar 10-14 Nisan**	**Yaz 28-30 Haziran**
İç Hava Sıcaklığı (ºC)	13,2	16,8	27,7	10,74	17,42	25,73
Ortalama Işınım Sıcaklığı (ºC)	13,4	17,1	27,9	8,62	16,6	25,93
Bağıl Nem (%)	55,9	55,6	54,1	70,6	55,1	50,3
Hava Hızı (m/s)	0,15	0,13	0,25	0,13	0,13	0,13
Operatif Sıcaklık (ºC)	13,3	17	27,8	9,68	17,01	25,83
PMV (±0,5)	-1,7	-0,8	0,6	-2,12	-0,69	0,65
PPD (<10%)	59,8	20,3	22,48	79,0	14,67	13,85

Tablo 5.4 ve Şekil 5.4 örnek caminin elektrik faturalarından elde edilen enerji tüketim verilerini ve simülasyon programının sonuçlarını göstermektedir. Enerji tüketim verilerine göre toplam tüketimler birbirine çok yakındır. Ancak aylık olarak bakıldığında değerler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Energyplus yazılımı iklim verilerinin ölçüm yılı (2017) iklim verilerinden farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmada yönteme göre oluşturulan senaryoların simülasyonları aynı iklim verileri üzerinde yapılacağı için değerlerin birbirleriyle karşılaştırılmasında hata payı oldukça düşük olacaktır. Tablo incelendiğinde mevcut camide enerji tüketiminin büyük oranda ısıtma için kullanıldığı görülebilmektedir. Ayrıca fan ve diğer elektrik ekipmanlarda tüketim yapmaktadır. Mevcut camide yaz aylarında soğutma sistemlerinin çalıştırılmaması bu durumun oluşmasına neden olmaktadır.

Tablo 5.4 Aylara göre mevcut cami enerji tüketim düzeyleri

Aylar	Mevcut Kullanım Toplamı	Simülasyon Değerleri		
		Toplam Kullanım	Isıtma	Soğutma
Ocak	9938,077	11101,75	10572,78	-
Şubat	10953,501	10130,92	9646,42	-
Mart	6934,836	11242,79	10696,47	-
Nisan	9396,269	903,36	389,21	-
Mayıs	3015,19	548,87	89,28	-
Haziran	2079,59	1044,78	4,38	213,99
Temmuz	2017,52	842,35	-	313,38
Ağustos	1641,289	856,81	-	327,84
Eylül	1635,119	531,16	-	86,4
Ekim	1633,171	548,87	-	89,28
Kasım	5703,602	10585,91	10064,5	7,26
Aralık	4417,83	11252,04	10705,72	-
Toplam	59365,994	59589,61	52168,76	1038,15



Şekil 5.4 Mevcut caminin gerçek ve simülasyon programı enerji tüketim değerleri

Gerçek koşullar ile simülasyon programı sonuçları değerlendirildiğinde ısıl konfor düzeyi her iki sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Simülasyon ve gerçek koşul sonuçlarında negatif bölgede konforsuzluk ve pozitif bölgede konforsuzluk uyumlu çıkmıştır. Enerji tüketim verileri, toplam tüketim açısından oldukça uyumlu sonuçlar gösterirken, aylık bazda küçük farklılıklar göstermiştir. Çalışmanın sonraki aşamalarında aynı veriler üzerinden devam edileceği için senaryoların karşılaştırmalarındaki olası hata payları aynı olacaktır. Çalışma kapsamında oluşturulan yönteme göre referans senaryo oluşturulması ve yapı kabuğu senaryoları ile devam edilecektir.

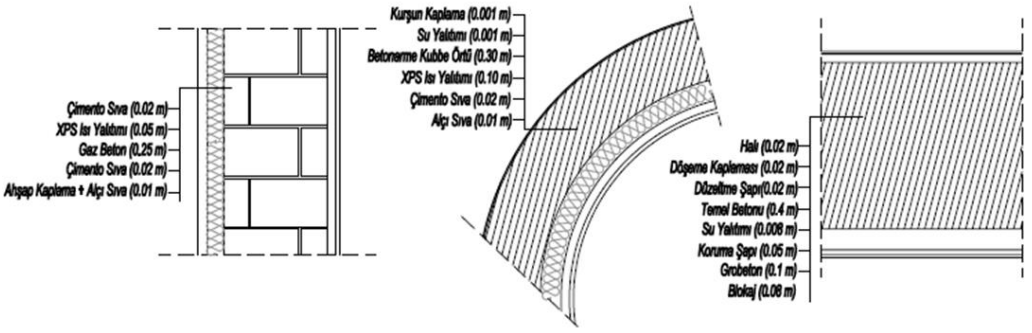
6
CAMİLERİN TASARIM SENARYOLARININ ISIL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

6.1 Camilerin Optimum Yapı Kabuğu Belirlenmesi için Tasarım Senaryoları

6.1.1 Referans Cami Senaryo Özelliklerinin Belirlenmesi

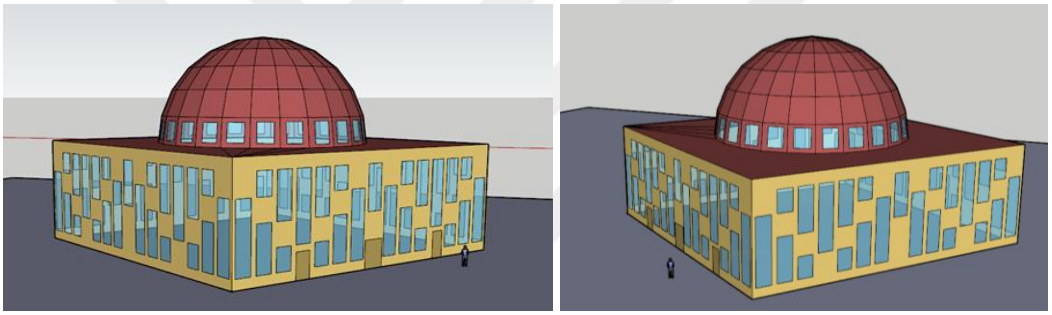
Simülasyonlarda kullanılan referans caminin konumu için İstanbul ili seçilmiştir. İstanbul, ılıman nemli iklim bölgesinde yer almaktadır. İstanbul'daki camilerin kıbleye (Mekke) 146,7° açıyla yönlendirilmesi gerekmektedir. Bu durum, camilerin tasarım doğrultusuna güneydoğu-kuzeybatı ekseninde yön vermektedir. Simülasyon programına eklenen iklim verileri Energyplus programının hava durumu verilerinden alınmıştır [110].

Referans caminin saydamlık oranı tüm cephelerde aynı olmak üzere %50'dir. Caminin plan şeması olarak kare taban, üst örtüsü tek kubbelidir. Caminin toplam taban alanı 900 m^2, hacmi ise 11.094 m^3'tür. Referans senaryonun boyutları ve plan şeması literatürden elde edilen sınıflandırmalara göre belirlenmiştir [82], [84]. Isıtma ve soğutma sistemi fancoil sistemdir. İç ortamın ısıtılması kazan suyu sistemi ile sağlanmıştır. Yaz aylarında soğutma, chiller su sistemi ile yapılmaktadır. Kazan sisteminin nominal ısı verim değeri 0.8, chiller sisteminin performans katsayısı (CoP) değeri 5.5 olarak programa işlenmiştir. Referans cami senaryosunda saydam alanların önünde gölgelendirme elemanı kullanılmamıştır. Saydam alanlarda çift cam kullanılmıştır. Şekil 6.1'de yapı kabuğu bileşenlerinin kesit özellikleri gösterilmektedir.



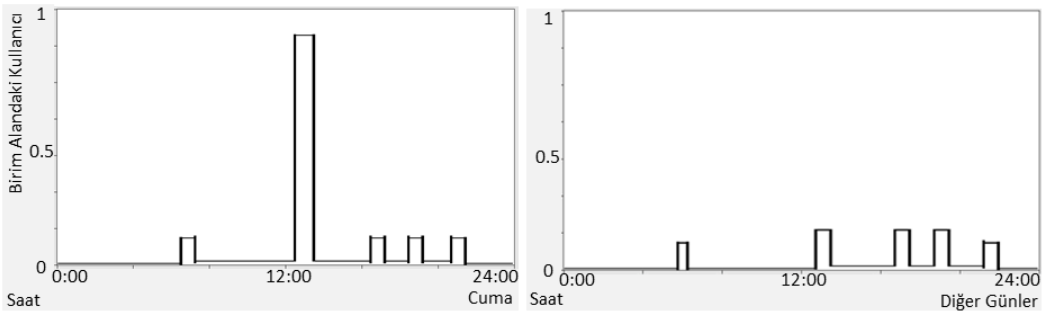
Şekil 6.1 Referans Caminin Yapı Kabuğu Kesit Özellikleri (duvar, kubbe, zemin döşemesi)

Referans cami senaryosunun form ve kütle organizasyonu gibi özellikleri diğer senaryolarda sabit tutulmuştur. Bu çalışmada yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri enerji tüketimi ve ısıl konfor açısından araştırılmıştır. Şekil 6.2, referans cami tasarımının kubbe ve cephe organizasyonunu göstermektedir.



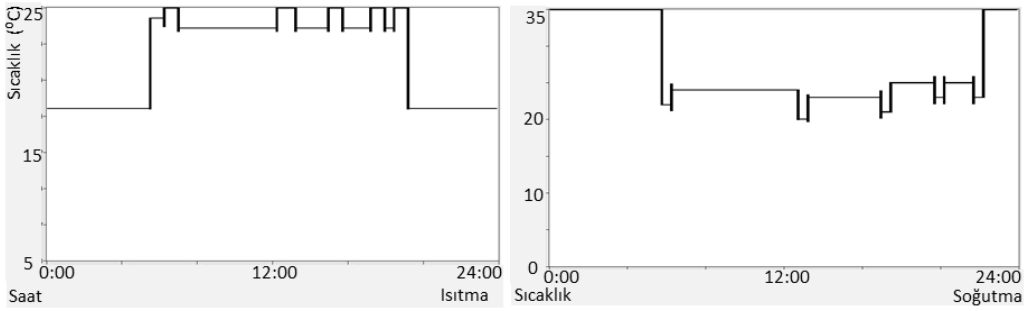
Şekil 6.2 Referans cami senaryosunun dış cephe görselleri

Caminin kullanım programı, literatürdeki camilerin kullanım yoğunluğuna, bu tez çalışmasındaki mevcut cami verilerine göre belirlenmiştir [10], [17]. Kullanım programlarının oluşturulmasında zaman, ibadet türü ve mevsimsel değişiklikler dikkate alınmıştır. Şekil 6.3'te referans senaryonun Cuma ve diğer günlerindeki kullanım yoğunluğu gösterilmektedir. Bina kullanıcılarının yoğunluğu literatürden elde edilen verilere ve gerçek koşullara göre belirlenmiştir [10].



Şekil 6.3 Referans senaryonun cuma ve diğer günlerdeki kullanım programları

Şekil 6.4, diğer senaryolarda referans olarak kullanılan ısıtma ve soğutma sistemi programını göstermektedir. Tüm senaryolarda HVAC sisteminin çalışması, ısıl konforun sağlanması amacıyla namaz vakitlerine göre ayarlanmıştır. Cami senaryolarında iç ortam, namaz vakitleri dışında belirli bir sıcaklıkta tutulmuştur. Isıtma döneminde iç ortam sıcaklığı namaz vakitlerinde 25 °C, toplu namaz saatleri dışındaki kullanım saatlerinde 23 °C, caminin kapalı olduğu saatlerde ise 15 °C'de tutuldu. Soğutma döneminde iç ortam sıcaklığı namaz vakitlerinde 20–22 °C, toplu namaz saatleri dışındaki kullanım saatlerinde ise 23–25 °C olup, caminin kapalı olduğu saatlerde ise kapatılmıştır. Ayrıca cuma namazı, ramazan ayı teravih namazı gibi durumlara göre iç mekân sıcaklık seviyesi çizelgeleri de programa detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.



Şekil 6.4 Referans senaryonun ısıtma ve soğutma sistem programları

Tüm senaryolarda caminin aydınlatma, iç donanımın elektrik yükü, hava sızdırmazlık seviyesi gibi programları simülasyon programının girdi kısmında detaylı olarak işlenmiştir. Tablo 6.1'de değerler mevsim değişiklikleri, ibadet türü ve namaz vaktinin yoğunluğu dikkate alınarak ısı iletim katsayısı Türk Standardı (TS) 825'te belirtilen değerlere göre belirlenmiştir. Yapı kabuğu senaryolarında HVAC sistem hava değişim oranı 0.5 ach ve sürekli kullanım programı seçilmiştir. Diğer senaryolarda değiştirilen özelliklerin enerji tüketimine etkisi belirlenecektir.

Standartlarda ısıl konfor parametreleri için önerilen değerler bulunmaktadır [22], [26], [85]. Simülasyonlarda dikkate alınan değerler, yazarların İstanbul için anket, ölçüm ve gözlem yöntemleriyle ve standartlardan yararlanarak yaptığı çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir [9], [108], [111]. Tablo 6.2 senaryolardaki ısıl konfor parametrelerini göstermektedir.

Tablo 6.1 Referans cami senaryosunun HVAC sistem ve fiziksel özellikleri

Referans Cami Senaryosunun Özellikleri			
Saydamlık oranı:	%50—Tüm cepheler	Plan şeması:	Kare
Isı iletim katsayısı: (W/m^2K)	Duvar—0.57 Döşeme—0.36 Çatı—0.53 Pencere—1.8	Kubbe türü: Plan alanı: Toplam hacim: Hava değişim oranı:	Tek / r=10 m 900 m^2 (30-30-10) 11,094 m^3 0.5 ach (1/h)
HVAC sistem türü:	Fan coil sistem (doğal gaz + elektrik)	Gölgelendirme elemanları (yatay – düşer veya örüntü form)	yok

Tablo 6.2 Cami senaryolarının ısıl konfor düzeyi analiz girdileri

Parametre / Mevsim	**Kış**	**Bahar**	**Yaz**
Hava hızı (m/s)	0.15	0.15	0.15
Giysi yalıtım değeri (clo)	1.1	0.9	0.5
Metabolik oran (met)	1.3	1.3	1.3

6.1.2 Yapı Kabuğu Parametre Değişikliklerine Bağlı Diğer Senaryolar

Bu bölümde U değeri, saydamlık oranı ve gölgelendirme elemanlarındaki değişime göre diğer senaryoların ayrıntıları tanıtılmaktadır. Çalışma kapsamında TS 825 standardında belirtilen sınır değerler ve iyileştirilmiş değerler senaryolarda ısıl konfor ve enerji tüketimine etkisi açısından incelenmiştir. Tablo 6.3 senaryolarda dikkate alınarak yapı kabuğunun kesit ısı iletim katsayılarını göstermektedir. Yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin (1 cm aralıklarla) değiştirilmesiyle enerji tüketimindeki tasarruf araştırılmıştır. Bu nedenle duvar, çatı ve temeldeki ısı yalıtım malzemesi 0'dan 0,2 m'ye çıkarılarak analizler yapılmıştır.

Tablo 6.3 Senaryolardaki ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlık aralığı

Yapı Bileşeni	Önerilen U Değeri (W/m^2K)	TS 825 U Değeri (W/m^2K)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yalıtımın Özgül Isısı (J/ kgK)	Yalıtım Yoğunluğu (kg/m^3)	Yalıtım Kalınlığı (cm)
Duvar	0,30	0,60	0,034	1400	35	0-20
Çatı	0,30	0,60	0,034	1400	35	0-20
Temel	0,25	0,40	0,034	1400	35	0-19

Tablo 6.4'te yapı kabuğunun yönlere göre saydamlık oranları gösterilmektedir. Cephelerdeki saydamlık oranlarındaki değişiklikler mevcut uygulamalar dikkate alınarak dört düzeyde tasarlandı. Bu oranlar çok küçük (%15), küçük (%25), orta (%50) ve büyük (%75) şeklindedir.

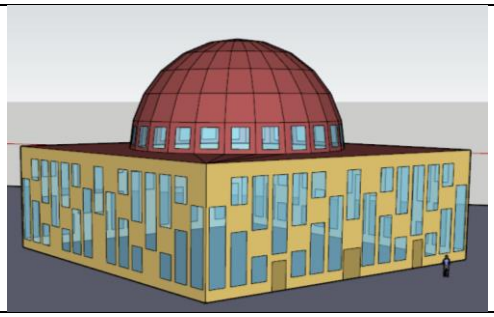
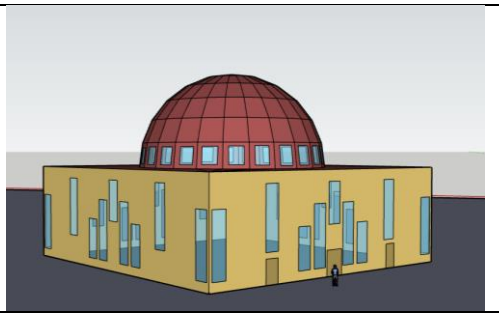
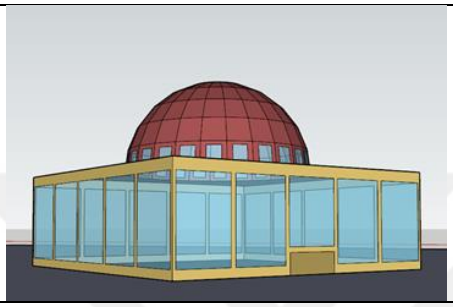
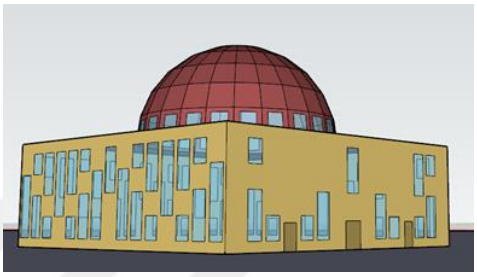
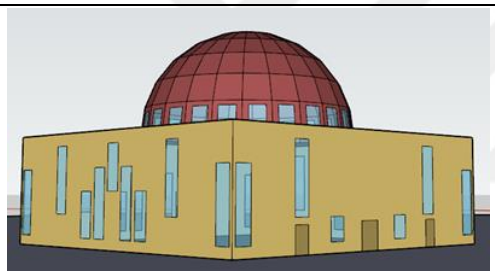
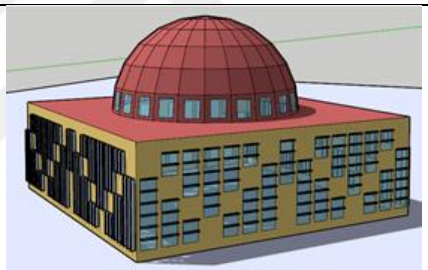
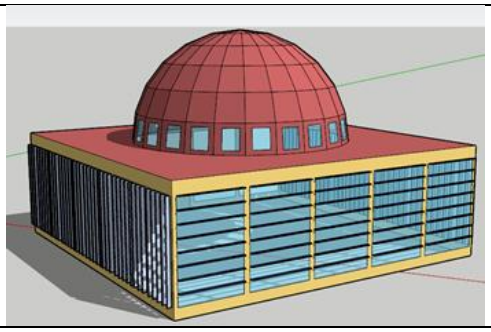
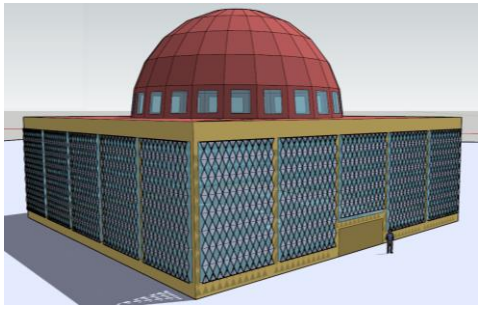
- Tüm cephelerde aynı şeffaflık oranlarının uygulandığı senaryolar %25, %50 ve %75'tir.
- Kuzey cephedeki çok küçük oran %15'te sabit tutulurken, diğer cephelerde %25 (küçük) ve %50 (orta) senaryoları incelenmiştir.

Tablo 6.4 Senaryo türlerindeki yönlere göre yapı kabuğunun saydamlık oranları

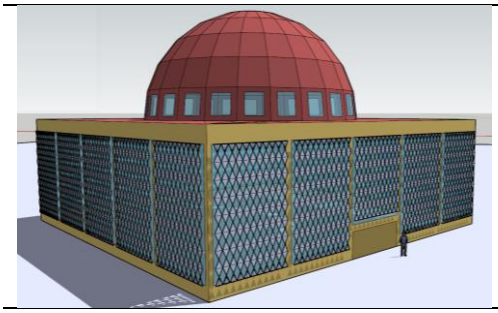
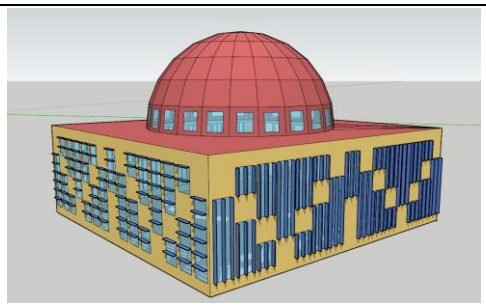
Yönler	Senaryo Türlerindeki Saydamlık Oranları (%)				
Kuzey	15	15	25	50	75
Güney	50	25	25	50	75
Doğu	50	25	25	50	75
Batı	50	25	25	50	75

Saydamlık oranının %50 ve %75 olduğu durumlarda bina kabuğunda gölgeleme elemanları kullanılarak soğutma yükleri azaltılmaya çalışılmıştır. Gölgelendirme elemanları yönlere bağlı olarak yatay-düşey ve örüntü–dekoratif formda uygulanmıştır. Gölgelendirme elemanlarına ilişkin boyut hesaplamaları, 21 Haziran günü binanın kuzeydoğu tarafında saat 9.00'da, güneydoğu tarafında saat 12.00'de ve güneybatı tarafında saat 15.00'teki gölge hesabına göre yapılmıştır. Buna göre yatay gölgeleme elemanlarının genişliği 0,32 m, düşey gölgeleme elemanlarının genişliği ise 0,4 m'dir. Örüntü gölgelendirme elemanları cephelerde %50 şeffaflık sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Eşkenar dörtgenlerden oluşan desenlerin bir birimi 0,25 m^2'dir. Senaryo aşamalarında yapı kabuğu ve cami tasarım özellikleri genel özellikleriyle benzer olarak kalmıştır. Tablo 6.5'te referans senaryoya göre karşılaştırma amacıyla oluşturulan diğer senaryoların cephe görünümleri yer almaktadır. Senaryolarda değiştirilen parametrelerde de belirtilmektedir.

Tablo 6.5 Örnek A'ya göre diğer senaryolardaki yapı kabuğunun özellikleri

	
Tüm Cephelerde Saydamlık: %50	Tüm Cephelerde Saydamlık: % 25
Örnek A–D	**Örnek E**
	
Tüm Cephelerde Saydamlık: %75	Değişken Saydamlık Oranı: %50–%15
Örnek F	**Örnek G**
	
Değişken Saydamlık Oranı: %25–%15	Tüm Cephelerde Saydamlık **%50** Yatay-Düşey Gölgelendirme Elemanı
Örnek H	**Örnek I**
	
Tüm Cephelerde Saydamlık %75 Yatay-Düşey Gölgelendirme Elemanı	Tüm Cephelerde Saydamlık %75 Yatay-Örüntü Gölgelendirme Elemanı
Örnek J,K	**Örnek L**

Tablo 6.5 Örnek A'ya göre diğer senaryolardaki yapı kabuğunun özellikleri (devamı)

															
Tüm Cephelerde Saydamlık %75Yatay-Örüntü Gölgelendirme Elemanı						Tüm Cephelerde Saydamlık %50 Yatay-Düşey Gölgelendirme Elemanı									
Örnek M						**Örnek Optimum Kabuk (O.K.)**									
Değişken/Örnek Senaryolar		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O. K.
Saydamlık Oranı	Tüm Cephelerde Aynı	-	-	-	-	√	√	-	-	-	√	√	√	√	-
	Değişken Oran	-	-	-	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-
Isı İletim Katsayısı	Opak Alanlar	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√
	Saydam A.	-	√	-	√	-	-	-	-			√	-	√	√
Gölgelendirme Elemanı	Yatay–Düşey	-	-	-	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	√
	Örüntü form	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	√	-

6.1.3 Referans Senaryoda Malzeme Özellikleri Değişikliğinin Etkisi

Binaların tasarım sürecinin başında, yapı kabuğundaki malzemelerin kullanım miktarı ve türü dikkate alınmalıdır. Malzeme seçimi ve miktarları binaların iklim tipine ve kullanım amacına göre optimum düzeyde olmalıdır. Yapı kabuğunun ısıl özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda iç ortamın ısıl konforunun sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılan uygulama çift-üçlü cam pencere ve ısı yalıtım malzemesi kullanımıdır. Ancak bu malzemelerin optimum kullanımı hem ilk yatırım maliyeti hem de hammadde kullanımının azaltılması açısından önemlidir.

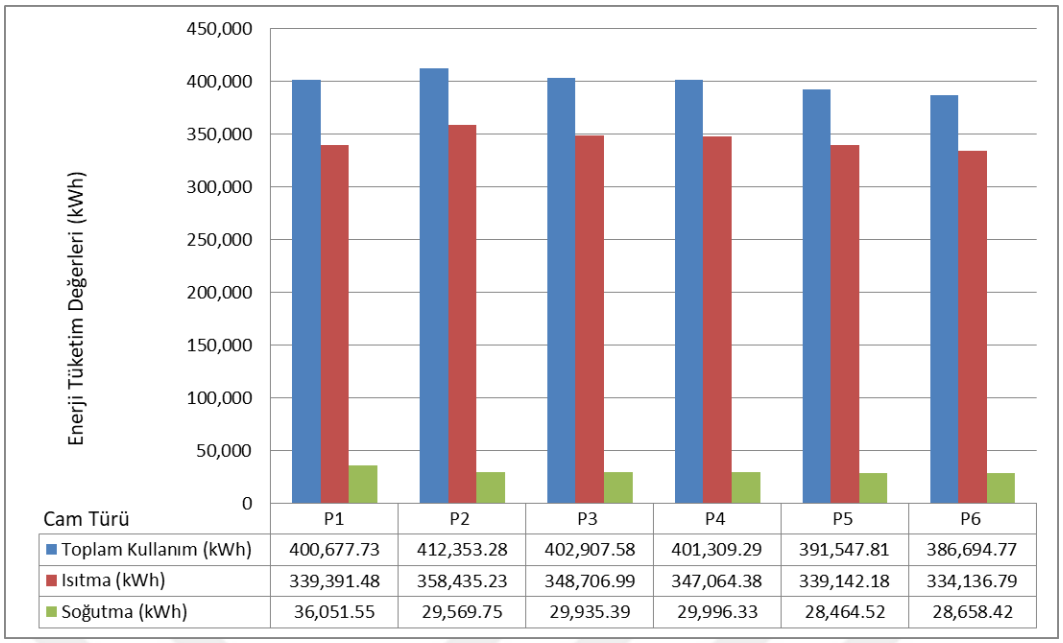
Saydam alanların ısı iletim katsayısı azaltılarak enerji tüketimindeki değişim araştırılmıştır. Referans senaryonun cam alanlarında %50 saydamlık oranıyla yapılan iyileştirmelerin enerji tüketimine etkisi incelendi. Tablo 6.6 saydam alan alternatiflerinin ısıl özelliklerini göstermektedir. Senaryoların oluşturulmasında cami yapı kabuğunun dolu alanlarında ısı yalıtım malzemesi kullanılmamıştır. Bu şekilde sadece saydam alan iyileştirmelerinin enerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

Camların arasındaki boşluklarda kullanılan hava ve argon gazı ile ikili-üçlü cam alternatifleri denenmiştir. Simülasyonlarda ısıl konfor seviyesinin kabul edilebilir aralıklarda olmasına dikkat edilmiştir.

Tablo 6.6 Cami kabuğunun saydamlık oran alternatifleri

Senaryo İsmi	Türü	Gaz Tipi	Cam Katmanı Türü (mm)	Günışığı Geçirgenliği (%)	Güneş Enerjisi Kazanç Katsayısı	U Değeri (W/m^2K)
P1	Çift	Hava	4 + 16 + 4	83	0.82	2.7
P2	Çift	Hava	4 + 16 + 4	73	0.54	1.81
P3	Çift	Argon	4 + 16 + 4	73	0.54	1.51
P4	Çift	Argon	4 + 12 + 4	73	0.54	1.46
P5	Üçlü	Hava	4 + 12 + 4 + 12 + 4	62	0.46	0.92
P6	Üçlü	Argon	4 + 12 + 4 + 12 + 4	62	0.46	0.78

Şekil 6.5 farklı cam alternatif senaryolarının enerji tüketimini göstermektedir. Pencere (P) 1 ve P2 senaryoları karşılaştırıldığında, saydam alanların güneş enerjisi kazancının azalması nedeniyle U değerindeki iyileşmeye rağmen enerji tüketiminde artış olduğu görülmüştür. Bu durum güneş enerjisi kazanımının ısıtma dönemi için faydasını göstermektedir. Ayrıca güneş enerjisi kazanımındaki azalma, soğutma döneminde faydalı olsa da toplamdaki artışı dengeleyememiştir. Kullanılan gazın türünün ve U değerindeki iyileşmenin enerji tasarrufuna katkısı incelenmiştir. U değeri, P2 ve P3 senaryolarında kullanılan gazla iyileşmiştir. P2 ve P3 senaryolarındaki SHGC (Güneş Enerjisi Kazanç Katsayısı – Solar Heat Gain Coefficient) ve cam katmanı değerleri için de durum aynıdır. Bu durum enerji tüketimine de yansımıştır. Üçlü cam U değeri açısından fayda sağlasa da güneş enerjisi kazanımı açısından olumsuz etki yaratmıştır. Bu toplam enerji tüketimindeki azalma miktarını etkilemiştir. Ancak saydam alanlardaki ısıl iyileştirmelerin soğutma döneminde büyük bir olumlu etkisi olmamıştır.



Cam Türü	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Toplam Kullanım (kWh)	400,677.73	412,353.28	402,907.58	401,309.29	391,547.81	386,694.77
Isıtma (kWh)	339,391.48	358,435.23	348,706.99	347,064.38	339,142.18	334,136.79
Soğutma (kWh)	36,051.55	29,569.75	29,935.39	29,996.33	28,464.52	28,658.42

Şekil 6.5 Saydam alanların iyileştirilmesinin enerji tüketimine etkisi

Camların arasındaki boşluklarda bulunan hava veya argon gazları enerji tüketimi açısından çok büyük bir fark yaratmamıştır. Bu çalışma kapsamında argon gazının mevcut maliyet ve erişim koşulları dikkate alındığında pencerelerde hava gazı kullanımının daha etkili olduğu düşünülebilir. Saydam alanlarda U değerinin ve güneş enerjisi kazanımının iyileştirilmesi toplam enerji tüketimini büyük ölçüde etkilemektedir. Simülasyon sonuçlarında saydam alanlarda çift cam veya üçlü cam kullanımının güneş ısı kazanç katsayısı ile birlikte dikkate alınması gereken bir konu olduğu görülmüştür. Cam tipi referans ve diğer senaryolardaki analizlere göre seçilmiştir.

Bu bölümde, iç mekân ısı konforu sağlanırken camilerin yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemesi kalınlığının enerji tüketimi açısından etkisi incelenmiştir. Tablo 6.7'de yapı kabuğundaki yalıtım malzemesi kalınlığına göre enerji tasarrufu değerleri gösterilmektedir. Referans senaryonun (Örnek A) özellikleri aynı kalacak şekilde, değişen parametrelere göre analizler yapılmıştır. Enerji tasarrufu, herhangi bir ısı yalıtım malzemesinin kullanılmamasına bağlı olarak, eklenen ısıl özelliğin etkisiyle enerji tüketimindeki azalma miktarını ifade etmektedir. Açık gri çizgi referans senaryoda kullanılan kalınlığı, koyu gri çizgi ise optimum kalınlığı göstermektedir. Koyu gri çizgi değerlerinden sonra yalıtım malzemesi kalınlığının artırılmasının enerji tasarrufuna önemli bir katkısı olmadığı görülebilmektedir.

Belirlenen yalıtım malzemesi kalınlığı ve U değerleri diğer senaryolarda farklı parametrelerle çaprazlanarak kullanılmıştır.

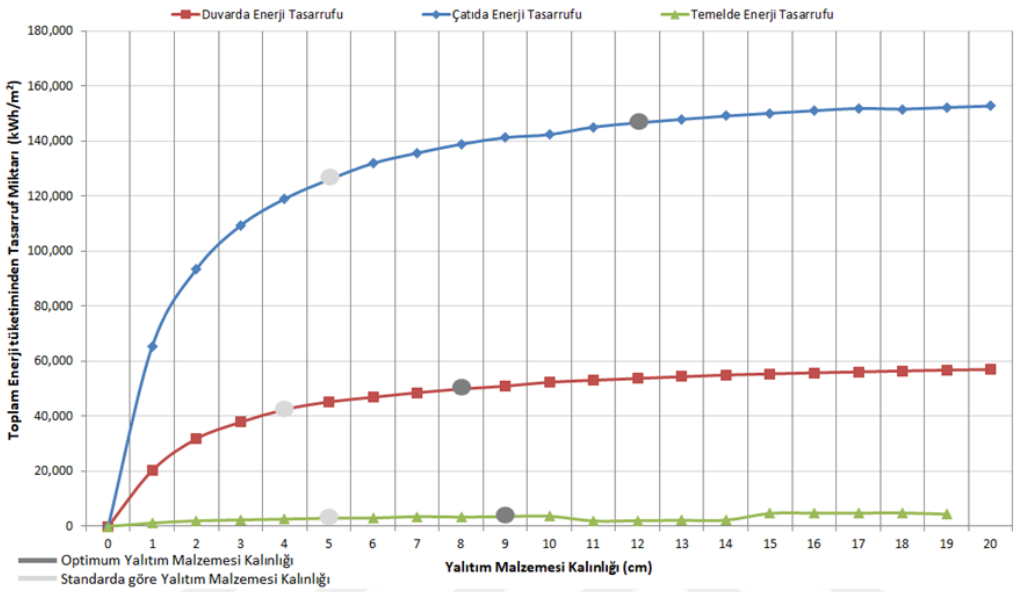
Tablo 6.7 Yapı kabuğu yalıtım malzemesi kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi

Kalınlık Aralığı (cm)	U Değeri (W/m²K)	Duvardan Enerji Tasarrufu (kWh)	U Değeri (W/m²K)	Çatıdan Enerji Tasarrufu (kWh)	U Değeri (W/m²K)	Temelden Enerji Tasarrufu (kWh)
0	1.69	0	2.49	0	0.83	0
1	1.13	20,329	1.44	65,527	0.67	1,227
2	0.85	31,833	1.01	93,435	0.56	2,030
3	0.68	37,858	0.78	109,307	0.48	2,357
4	0.57	42,461	0.63	119,008	0.42	2,648
5	0.49	45,253	0.53	125,957	0.37	2,969
6	0.42	46,932	0.46	131,902	0.34	3,033
7	0.38	48,577	0.41	135,658	0.31	3,562
8	0.34	49,946	0.36	138,863	0.28	3,385
9	0.31	50,965	0.33	141,281	0.26	3,559
10	0.28	52,397	0.30	142,364	0.24	3,706
11	0.26	53,098	0.28	145,093	0.23	1,961
12	0.24	53,763	0.25	146,624	0.21	2,108
13	0.23	54,392	0.24	147,910	0.20	2,210
14	0.21	55,009	0.22	149,104	0.19	2,246
15	0.20	55,422	0.21	150,131	0.18	4,737
16	0.19	55,810	0.20	151,043	0.17	4,792
17	0.18	56,151	0.19	151,882	0.16	4,828
18	0.17	56,472	0.18	151,616	0.15	4,881
19	0.16	56,802	0.17	152,223	0.15	4,438
20	0.15	57,029	0.16	152,724		
	Çalışma kapsamında seçilen yapı kabuğu optimum U değeri TS-825 2013'te tavsiye edilen yapı kabuğu U değeri					

İç ortamın dış ortam değişikliklerinden etkilenmesini engelleyen bir diğer parametre ise yapı kabuğunun ısıl ataletidir. Ataletin yüksek olduğu yapı kabuğu özellikle yaz aylarında ısının iç ortama hızlı geçişini engeller ve ısıyı absorbe eder. Kış mevsiminde ısının iç ortamdan dış ortama geçişini engellenmiş olur. Faz farkının yüksek, ısıl genlik faktörünün düşük olması istenir. Ancak bu tez çalışması kapsamında ısıl atalet konusu gelecek çalışmalarda incelenmek üzere kapsam dışında bırakılmıştır.

Şekil 6.6'da ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının arttırılmasıyla tasarruf edilen enerji tasarruf eğrileri gösterilmektedir. Senaryolar, ısı yalıtım malzemesinin yapı kabuğu bileşenine uygulanması ve diğer yapı bileşenlerinde kullanılmaması yoluyla oluşturulmuştur. Duvar ve çatı yüzeyinde 0'dan 0,2 m'ye kadar olan ısı yalıtım malzemesi eğrilerinde belli bir kalınlıktan sonra eğrinin eğiminin azaldığı

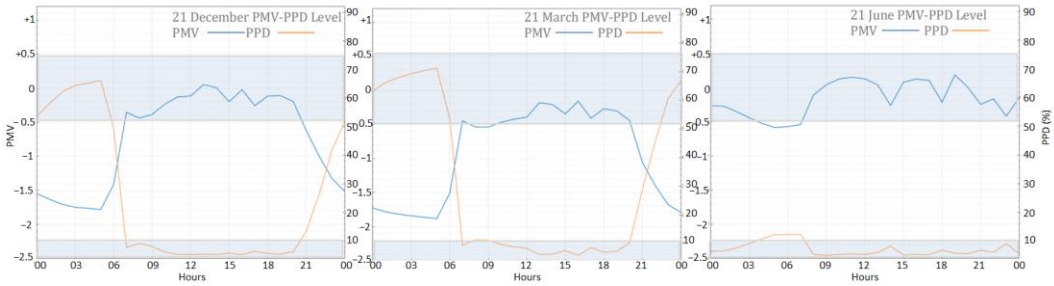
görülmüştür. Temelde yapılan ısı yalıtım iyileştirmeleri ise yatay yönde doğrusal olarak ilerlemiştir. Temeldeki ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu üzerinde minimum etkisi olmuştur. Ancak cami gibi büyük hacimli binaların çatı/kubbe organizasyonunda yapılacak ısıl iyileştirmeler, duvar ve temellere göre enerji tasarrufuna daha fazla katkı sağlamaktadır.



Şekil 6.6 Yalıtım malzemesi kalınlığının artırılarak edinilen enerji tasarrufu eğrisi

6.1.4 Referans Senaryonun Isıl Konforu ve Enerji Tüketimi

Referans senaryoda ısıl konfor düzeyi ibadet saatlerine göre kabul edilebilir aralıklarda olacak şekilde düzenlenmiştir. Caminin ısıtma ve soğutma sistemi toplu namaz vakitleri dışında belli bir performansta kalacak şekilde ayarlandı. Şekil 6.7'de seçilen özel günlere göre referans cami senaryosunun PMV-PPD düzeyi sonuçları gösterilmektedir. Camide kabul edilebilir düzeyde ısıl konfor sağlanarak minimum enerji tüketiminin sağlanması için uygun koşullar oluşturulmuştur. Bu senaryoda namaz vakitlerinde ısıl konfor seviyesi kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Caminin kapalı olduğu gece saatlerinde belirli bir sıcaklıkta tutulan iç ortamın, kısmi kullanım zamanlarında $+0{,}5 > PMV > -0{,}5$ ısıl konfor düzeyi aralığında olduğu görüldü. Yılın diğer günlerinde cami genel olarak Şekil 6.7'de belirtilen konfor seviyelerdedir.



Şekil 6.7 Seçilen günlere göre referans cami senaryosunun PMV-PPD sonuçları

Tablo 6.8 cami senaryosunda kabul edilebilir ısıl konfor düzeyini oluşturmak için kullanılan enerji tüketiminin dağılımını göstermektedir. Isıtma amacıyla tüketilen toplam enerjinin %61'ini doğal gaz enerjisi, soğutma için tüketilen elektrik enerjisi toplam enerjinin %26'sını oluşturmuştur. Camide ısıtma, soğutma, aydınlatma, iç donanım, pompa ve vantilatörde enerji tüketimi yaşandı. Caminin toplam enerji tüketimi 195.700 kWh oldu. Caminin birim alan başına enerji tüketimi ise 217,44 kWh/$m^{2,}$ birim hacim başına enerji tüketimi ise 17,64 kWh/m^3'tür. Elde edilen veriler diğer senaryoların sonuçlarına göre karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.8 Referans cami senaryosunun toplam enerji tüketimi

Enerji Kullanımı	GJ	kWh	Enerji Kullanımı	GJ	kWh	Birim Alan (W/m^2K)
Toplam Tüketim	704,5	195.700	Fan	29,7	8255	217,4
Isıtma	429,8	119.402	Aydınlatma	29,8	8288	**Birim Hacim (W/m^3K)**
Soğutma	184,7	51.322	Ekipman	22,6	6280	17,6

6.1.5 Diğer Tasarım Senaryolarının Enerji Tüketim Verileriyle Karşılaştırılması

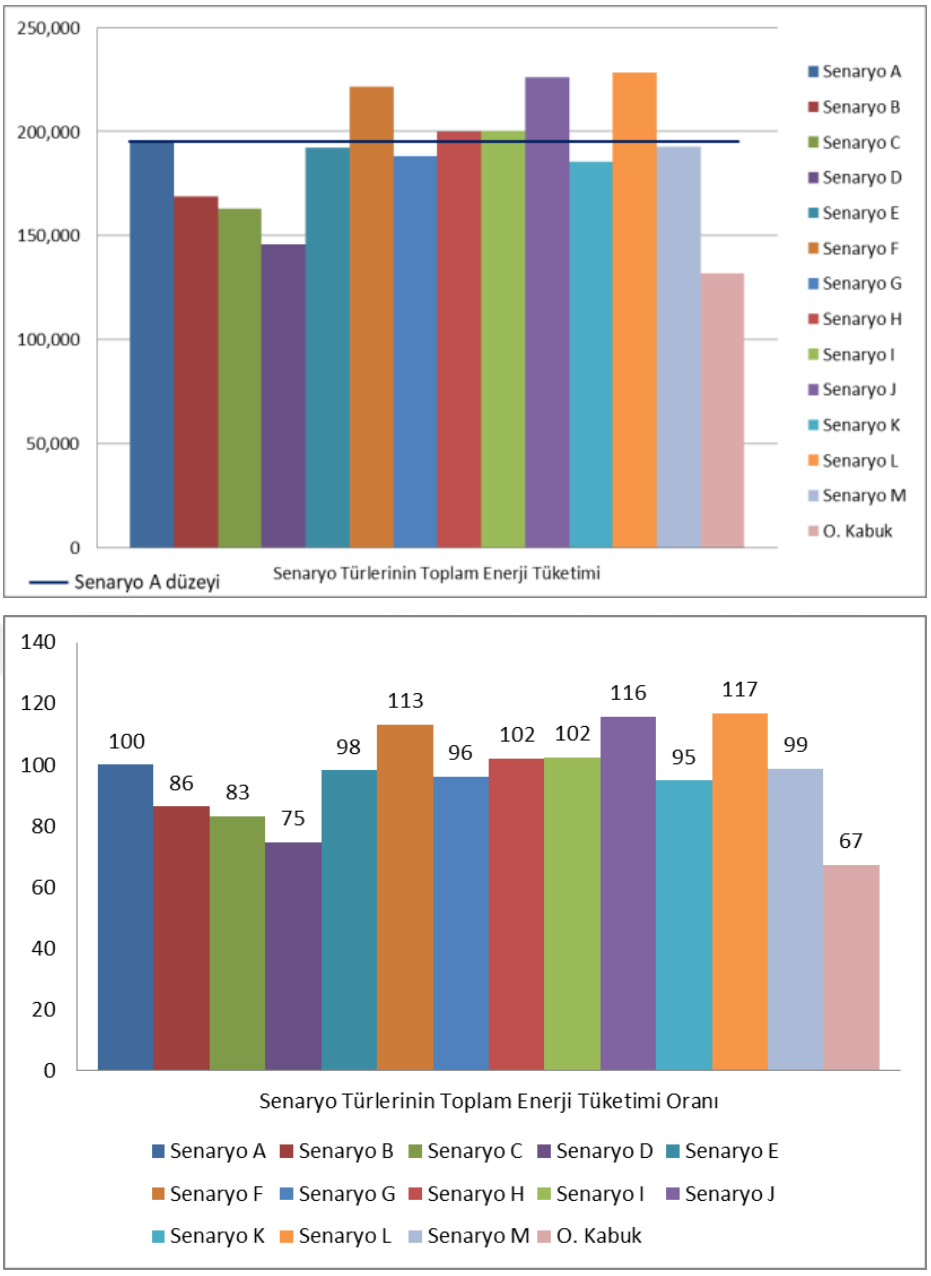
Örnek A'dan Örnek M'ye kadar olan senaryolarda, yapı kabuğu kesit ısı iletim katsayısının, saydamlık oranının ve gölgeleme elemanının enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Her senaryonun ısıl konfor düzeyi özel günler ve yılın diğer günleri için detaylı olarak incelenmiştir. Senaryoların ısıtma ve soğutma sistemi programı, iç ortam kabul edilebilir ısıl konfor seviyesinde kalacak şekilde düzenlenmiştir. Bu nedenle HVAC sistem programları dışındaki diğer kullanım programları Örnek A senaryosuyla aynıdır. Oluşturulan senaryolardaki değişiklikler Tablo 6.9'da gri kutularda gösterilmektedir.

Tablo 6.9 Örnek A'ya göre senaryo türlerinin değiştirilen özellikleri

Değişkenler	Örnek A	Örnek B	Örnek C	Örnek D	Örnek E	Örnek F	Örnek G
Saydamlık Oranı	%50-tüm cepheler	%50-tüm cepheler	%50-tüm cepheler	%50-tüm cepheler	%25-tüm cepheler	%75-tüm cepheler	%50-3 cep. %15-Kuzey
Kesitin Isı İletim Katsayısı (W/m^2K)	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36- temel 0.53-çatı 0.9-penc.	0.33-duvar 0.25- temel 0.25-çatı 1.8-penc.	0.33-duvar 0.25-temel 0.25-çatı 0.9-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.
Gölgelendirme Elemanı	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok
Değişkenler	**Örnek H**	**Örnek I**	**Örnek J**	**Örnek K**	**Örnek L**	**Örnek M**	**Opt. Kab.**
Saydamlık Oranı	%25-3 cep. %15-Kuzey	%50-tüm cepheler	%75-tüm cepheler	%75-tüm cepheler	%75-tüm cepheler	%75-tüm cepheler	%50-tüm cepheler
Kesitin Isı İletim Katsayısı (W/m^2K)	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 0.9-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 1.8-penc.	0.57-duvar 0.36-temel 0.53-çatı 0.9-penc.	0.33-duvar 0.25-temel 0.25-çatı 0.9-penc.
Gölgelendirme Elemanı	yok	yatay-düşey	yatay-düşey	yatay-düşey	örüntü form	örüntü form	yatay-düşey

Güneş ışınlarının açısına göre güney yönündeki yatay gölgeleme elemanlarının, doğu ve batı yönlerindeki dikey gölgelendirme elemanlarının boyutları ise 21 Haziran'da hesaplandı. Dekoratif amaçlı oluşturulan gölgeleme elemanları, bina kabuğunda %50 şeffaflık oranı oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Diğer taraftan çalışmada yer alan diğer senaryoların enerji tüketimlerinden elde edilen veriler üzerinden optimum kabuk senaryosu oluşturulmuştur. Bu kesitte, ısı iletim katsayısı Örnek A senaryosuna göre iyileştirildi ve bu senaryoda yatay–dikey gölgeleme elemanları kullanıldı.

Şekil 6.8 caminin optimum yapı kabuğunu belirlemek için oluşturulan 14 senaryonun enerji tüketim sonuçlarını göstermektedir. Şekilde ayrıca Örnek A senaryosu %100 kabul edilerek diğer senaryoların tüketim miktarlarındaki yüzde değişim de gösterilmektedir. Örneğin Örnek D senaryosunda Örnek A senaryosuna göre %25 enerji tasarrufu sağlanmıştır. En fazla enerji tasarrufu, yapı kabuğunun dolu ve saydam alanlarının kesit ısı iletim katsayısındaki iyileşmeyle sağlandı. Enerji tasarrufunda en yüksek kayıp, saydamlık oranının %75 olduğu ve gölgeleme elemanının örüntü – dekoratif formda olduğu durumlarda meydana gelmiştir (Örnek L).



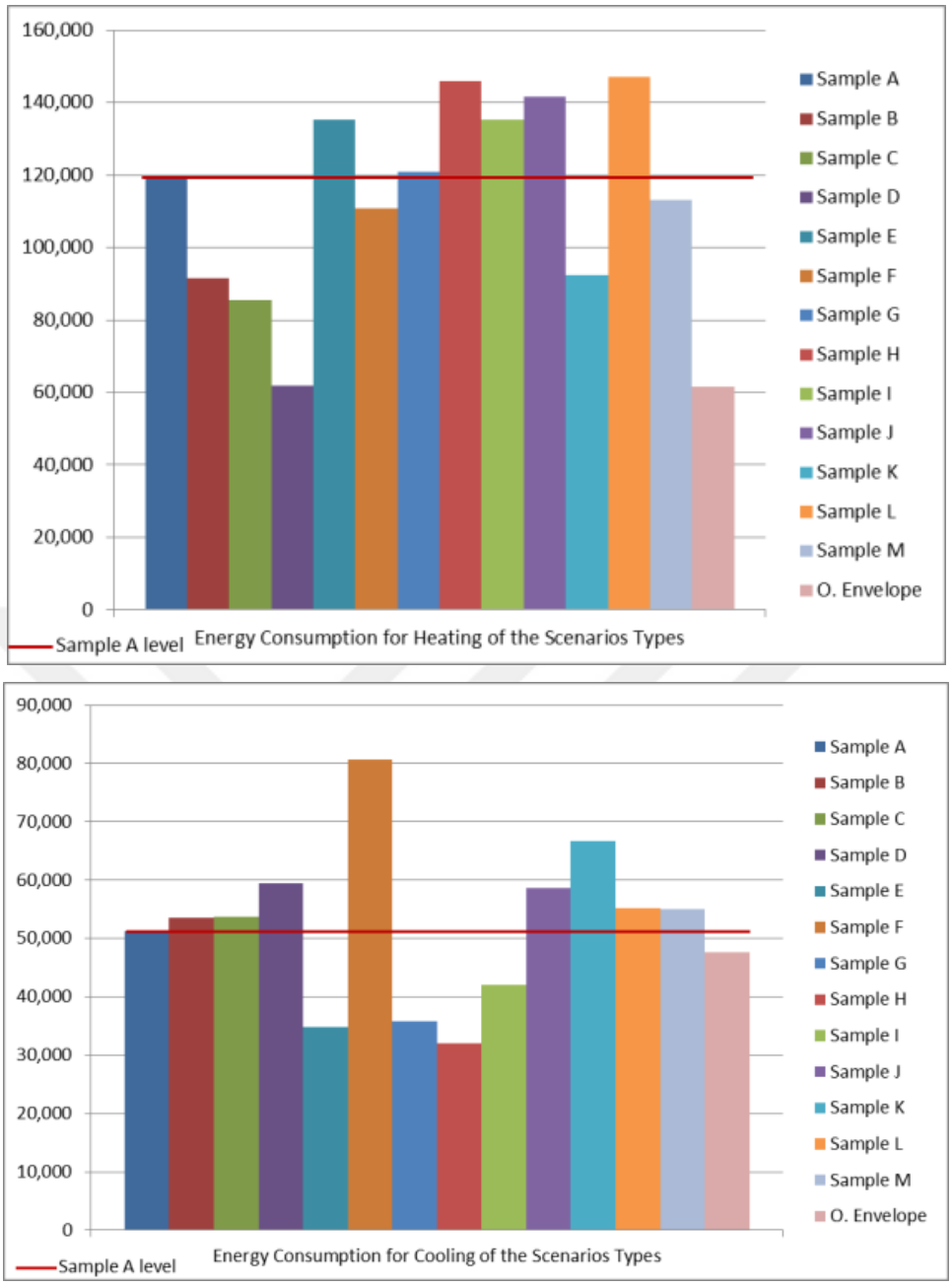
Şekil 6.8 Örnek cami senaryolarının toplam enerji tüketim miktarı ve oranları

Sadece yapı kabuğunun %50 saydamlık oranına sahip pencerelerinin ısı iletim katsayısındaki iyileşme, tüm dolu alanların ısı iletim katsayısındaki iyileşmeyle aynı miktarda enerji tasarrufu sağlamıştır (Örnek B,C). Dolu ve saydam alanların ısı iletim katsayısının birlikte iyileştirilmesi en iyi çözümlerden biridir (Örnek D). Yapı kabuğunun saydamlık oranının arttırılması enerji tüketiminin artmasına neden olmuştur (Örnek F). Saydamlık oranının düşürülmesi sonucunda enerji tüketiminde referans senaryoya (Örnek A) göre çok büyük bir değişiklik yaşanmamıştır (Örnek E). Saydamlık oranının düşürülmesi gün ışığı kazanımını azaltmıştır. Ayrıca farklı

yönlere bağlı olarak çeşitli saydamlık oranları da analiz edilmiştir. Referans senaryoya göre enerji tüketiminde büyük bir fark yoktur (Örnek G, H).

Referans senaryonun yapı kabuğunda gölgeleme elemanlarının kullanılması, saydam alanların ısı iletim katsayısının iyileştirilmesiyle birlikte büyük bir olumlu katkı sağlamıştır. Yatay–düşey gölgeleme elemanı ile örüntü gölgeleme elemanı (Örnek J,L) arasında enerji tüketimi açısından büyük bir fark yoktur. Ancak yatay–düşey gölgeleme elemanı gün ışığından tasarruf açısından daha büyük olumlu katkı sağlamış ve dış ortamla daha etkili görsel temas sağlamıştır.

Şekil 6.9'da yapı kabuğu özelliklerinin değiştirilmesiyle oluşturulan senaryolar için HVAC sisteminin ısıtma ve soğutma enerji tüketim miktarları gösterilmektedir. Toplam ısı iletim katsayısının düşürülmesi ısıtma enerjisi tüketimine olumlu katkı sağlarken soğutma enerjisi tüketimine olumsuz katkı sağlamıştır. Gölgeleme elemanlarının kullanımı ısıtma enerjisini olumsuz etkilerken, soğutma enerjisini olumlu yönde etkilemiştir. Referans senaryoya göre saydamlık oranının düşürülmesi, ısıtma amaçlı tüketilen enerjinin artmasına neden olmuştur. Ancak soğutma yükünü azaltmıştır. Yapı kabuğunun saydamlık oranının arttırılması, ısıtma için tüketilen enerjiyi azaltırken, soğutma için tüketilen enerjide önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu durum, söz konusu senaryonun (Örnek F) toplam enerji tüketimine de yansımıştır. %75 şeffaflık oranına sahip senaryolar kendi aralarında değerlendirildiğinde gölgeleme elemanları soğutma yükü açısından olumlu katkı sağlamıştır. Ancak cam özelliğine bağlı olarak ısıtma yükünü arttırdığı görülmüştür. Yapı kabuğunun saydamlık oranının %15 ve %25 oranında olması, soğutma yüklerini azaltırken, ısıtma yüklerini artırmıştır. Bu durum HVAC sisteminin ısıtma tüketiminin artmasına neden olmuştur.



Şekil 6.9 Örnek cami senaryolarının ısıtma ve soğutma için enerji tüketim düzeyleri

14 farklı cami senaryosunda yapı kabuğunun özelliklerinde tek bir kriter seçmek mümkün değildir. Bu nedenle seçim ve optimizasyona ihtiyaç vardır. Örnek cami senaryolarında yapılan analizler sonucunda kesit ısı iletim katsayısındaki iyileştirmenin tüm yapı kabuğu bileşenlerine (dolu ve saydam alanlar) uygulanması gerekmektedir. Saydam alanların ısı iletim katsayısı azaltılarak yapı kabuğunun saydamlık oranı arttırılabilir. Ayrıca gölgeleme elemanlarının kullanımı tek tek uygulandığında ısıtma için harcanan enerjinin artmasına neden olmuştur. Optimum kabuk senaryosunda saydamlık oranı %50'de tutularak yapı kabuğu bileşenlerinin

kesit ısı iletim katsayısı iyileştirilmiştir. Ayrıca kabuk üzerinde yönlere bağlı olarak yatay ve düşey gölgeleme elemanları kullanılmıştır. Optimum kabuk senaryosunda toplam enerji tüketiminde referans senaryoya (Örnek A) göre %33 oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca hem ısıtma hem de soğutma için tüketilen enerjiden tasarruf edilmiştir.

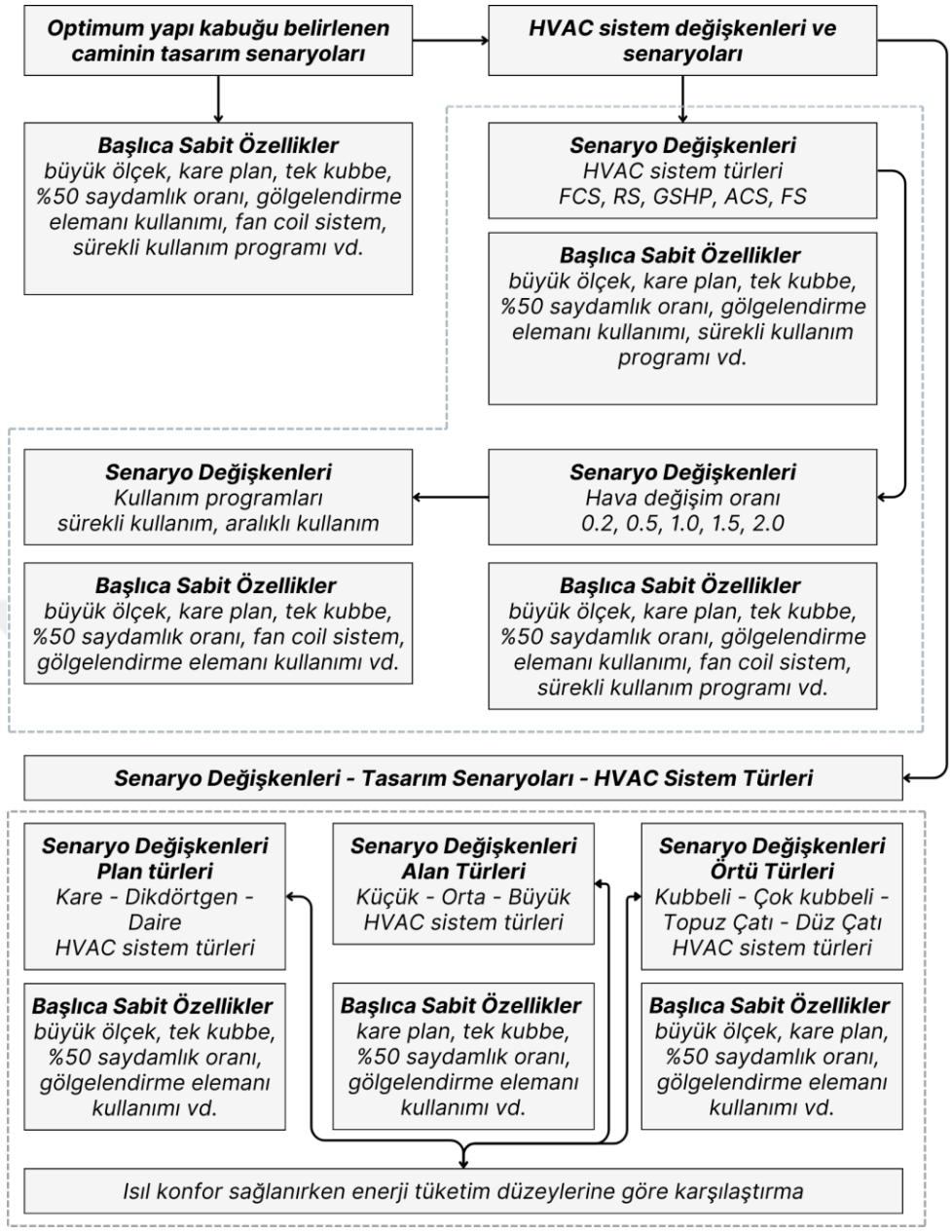
6.2 Tasarım Senaryoları ve HVAC Sistem Özellikleri

6.2.1 Camilerin Plan – Alan – Üst Örtü Türü Parametreleri

Öncellikle HVAC sistem türünün enerji tüketimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu nedenle beş farklı HVAC sistem tipinin enerji tüketim performansı ve ısıl konfor düzeyi, kare planlı, büyük ölçekli ve tek kubbeli tasarım sabit tutularak incelenmiştir. Senaryoların ısıtma ve soğutma kullanım programları, iç ortamda ısıl konfor düzeyinin sağlanması amacıyla her senaryoya özel olarak uyarlanmıştır. Tablo 6.10 yapı kabuğu özelliklerini, program girdi verilerini ve tasarım senaryolarını göstermektedir. Şekil 6.10'da tasarım senaryoları değişkenleri ve başlıca sabit özelliklerin akışı gösterilmektedir. Şekildeki senaryo değişkenleri analiz edilen parametreleri, temel sabit özellikler ise senaryolar arasındaki sabitleri göstermektedir. Analizler ısıl konfor sağlanırken enerji tüketim düzeyinin değişimine göre yapılmıştır.

Tablo 6.10 Cami senaryolarındaki simülasyon parametreleri

Yapı Kabuğu Özellikleri	**Saydamlık oranı**	%50 (tüm cepheler)	**Gölgelendirme elemanı**	Yatay - Düşey	
	Duvar U değeri	0.34 W/m^{2}K	**Temel U değeri**	0.26 W/m^{2}K	
	Çatı U değeri	0.25 W/m^{2}K	**Pencere U value**	0.92 W/m^{2}K	
Program Giriş Bilgileri	**Hava hızı**	0.15 m/s	**Etkinlik düzeyi**	1.3 met	
	Aydınlatma yükü	7.75 W/m^2	**Elektrikli ekipman yükü**	3.98 W/m^2	
	Giysi yalıtım değeri	Kış – 1.1 clo / Bahar – 0.9 clo / Yaz – 0.5 clo			
	İnsan yoğunluğu	1.2 insan/m^2			
HVAC Sistem Senaryoları	**HVAC Sistem Türü**	FCS, RS, ACS, FS, GSHP			
	Ach türü	0.2 – 0.5 – 1.0 – 1.5 – 2.0 ach			
	Kullanım programı	Aralıklı – Sürekli kullanım			
Cami Tasarım Senaryoları	**Plan Türü**	Kare	Dikdörtgen	Daire	
	Boyut Türü	Büyük ölçek	Orta ölçek	Küçük ölçek	
	Çatı Türü	Tek kubbeli	Çok kubbeli	Topuz çatı	Teras çatı

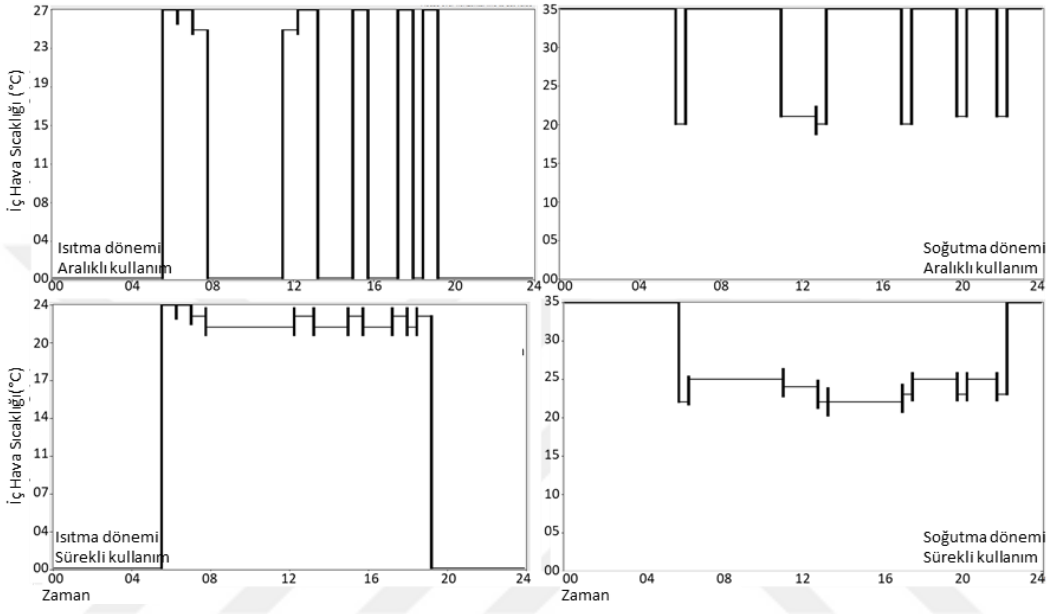


Şekil 6.10 Tasarım senaryoları değişkenleri ve sabit özellikleri akışı

Çalışmanın bu bölümünde HVAC sistem özelliklerinin cami enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. HVAC sisteminin kullanım programının ve saatteki hava değişiminin (ach) enerji tüketimi ve ısıl konfor üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapı kabuğu senaryolarında HVAC sistem türü fan coil sistem, hava değişim oranı 0.5 ach ve sürekli kullanım programı seçilmiştir. Kullanım ve ach senaryolarında camilerin HVAC sistem türü için sabit özellik olarak fan coil sistemi seçilmiştir. Ayrıca tasarım kriterlerinden kare planlı ve büyük ölçekli olması diğer sabit özelliklerdir. Camilerin kullanım programları sürekli kullanım ve aralıklı kullanım

olmak üzere iki senaryodan oluşmaktadır. Aralıklı kullanım programında toplu namaz saatleri dışında HVAC sistemi kapatılmaktadır.

Hava değişim oranının incelendiği senaryolarda, camide saatteki hava değişim oranı değişkenleri 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ach'tır. Şekil 6.11 ısıtma ve soğutma dönemleri sırasındaki kullanım türlerine göre HVAC sistem programlarını göstermektedir.



Şekil 6.11 Aralıklı ve sürekli kullanıma göre HVAC sistem programları

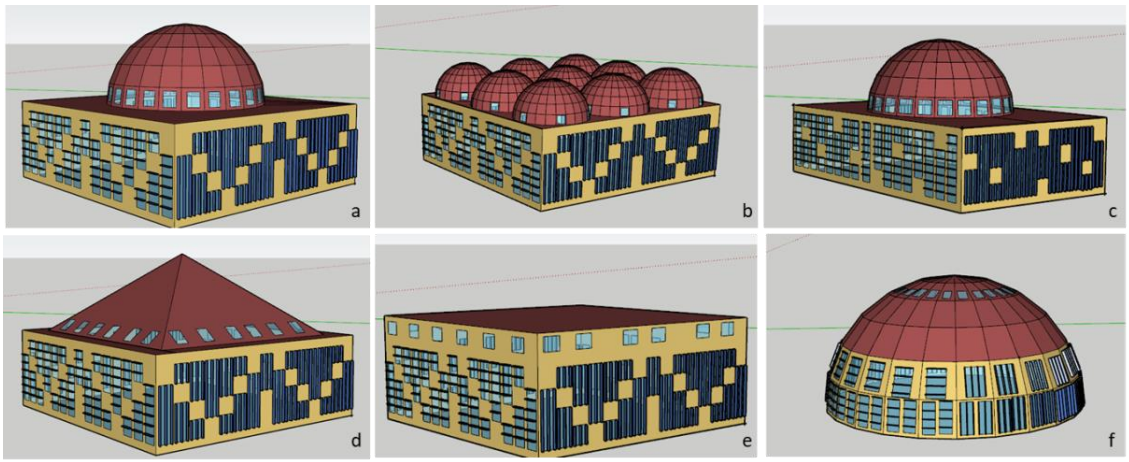
Cami plan şemalarının büyüklüklerini ve sınıflandırılmasını belirlemeye yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda camiler iç mekân büyüklüklerine, kullanıcı yoğunluğuna ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Onay A.'nın hazırladığı çalışmada camilerin büyüklüğü büyük camiler için min. 750 m^2, merkez camiler için min. 500 m^2, çarşı camileri için min. 150 m^2'dir [84]. Oral M. tarafından hazırlanan çalışmada A tipi 256 m^2 (orta büyüklükteki cami), B tipi 400 m^2 (büyük cami), C tipi ise 729 m^2 (merkez cami)'dir [82]. Bu çalışmadaki senaryolarda camilerin büyüklükleri küçük 256 m^2, orta 576 m^2 ve büyük 900 m^2 olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 6.11'te senaryolardaki camilerin plan, büyüklük ve çatı tipine göre parametrelerin özellikleri gösterilmektedir. Gelişen teknoloji ve yapım sistemleri sayesinde camiler farklı form ve plan şemalarında tasarlanabilmektedir. Geçmişte Osmanlı cami mimarisinin temel birimleri kubbe-kare-küp şeklindeydi. Geçmişteki ve günümüzdeki cami plan şemaları incelendiğinde kare, dikdörtgen, daire, üçgen,

çokgen, altıgen, sekizgen, amorf gibi tasarım örnekleri görülmektedir. Bu çalışmada Kare–Dikdörtgen–Daire plan şemalarının senaryoları ısıl konfor ve enerji tüketimi açısından incelenmektedir. Farklı kültür ve iklim tiplerinde camilerin çeşitli çatı biçimlerine rastlamak mümkündür. Türkiye Diyanet Vakfı'nın örnek cami projelerine göre çatılı, kubbeli ve diğer projeler başlıklarında camiler üst örtülerine göre sınıflandırılmıştır [112]. Bu çalışmada tek kubbeli üst örtü, çok kubbeli üst örtü, piramidal (topuz/çatılı) çatı ve düz (teras) çatı tipleri simülasyon senaryolarında incelenmiştir. Seçilen alternatifler günümüzde cami tasarımında genellikle tercih edilen temel cami mimari formlarıdır [68], [74], [76], [112]. Şekil 6.12'de enerji tüketimi analizi için oluşturulan cami senaryolarının görünümleri gösterilmektedir. Bunlar tek kubbe–kare plan (a), çok kubbe–kare plan (b), tek kubbe–dikdörtgen plan (c), piramidal çatı–kare plan (d), düz çatı–kare plan (e), daire plan (f) sıralamasındadır.

Tablo 6.11 Senaryolardaki tasarım parametre özellikleri

Tür	Parametre	Alan (m^2)	Hacim (m^3)	Boyut (m)
Plan Türü	Kare	900	11094	30-30-10
	Dikdörtgen	900	11094	25-36-10
	Daire	899.39	10145	r=16.92
Boyut Türü	Büyük Ölçek	900	11094	30-30-10
	Orta Ölçek	576	5205.5	24-24-7.5
	Küçük Ölçek	256	1541.7	16-16-5
Çatı Türü	Tek Kubbeli	900	11094	30-30-10
	Çok Kubbeli	900	11084	30-30-10
	Topuz Çatı	900	11083	30-30-10
	Teras Çatı	900	11088	30-30-12.32



Şekil 6.12 Enerji tüketim analizleri için üretilen senaryo görselleri

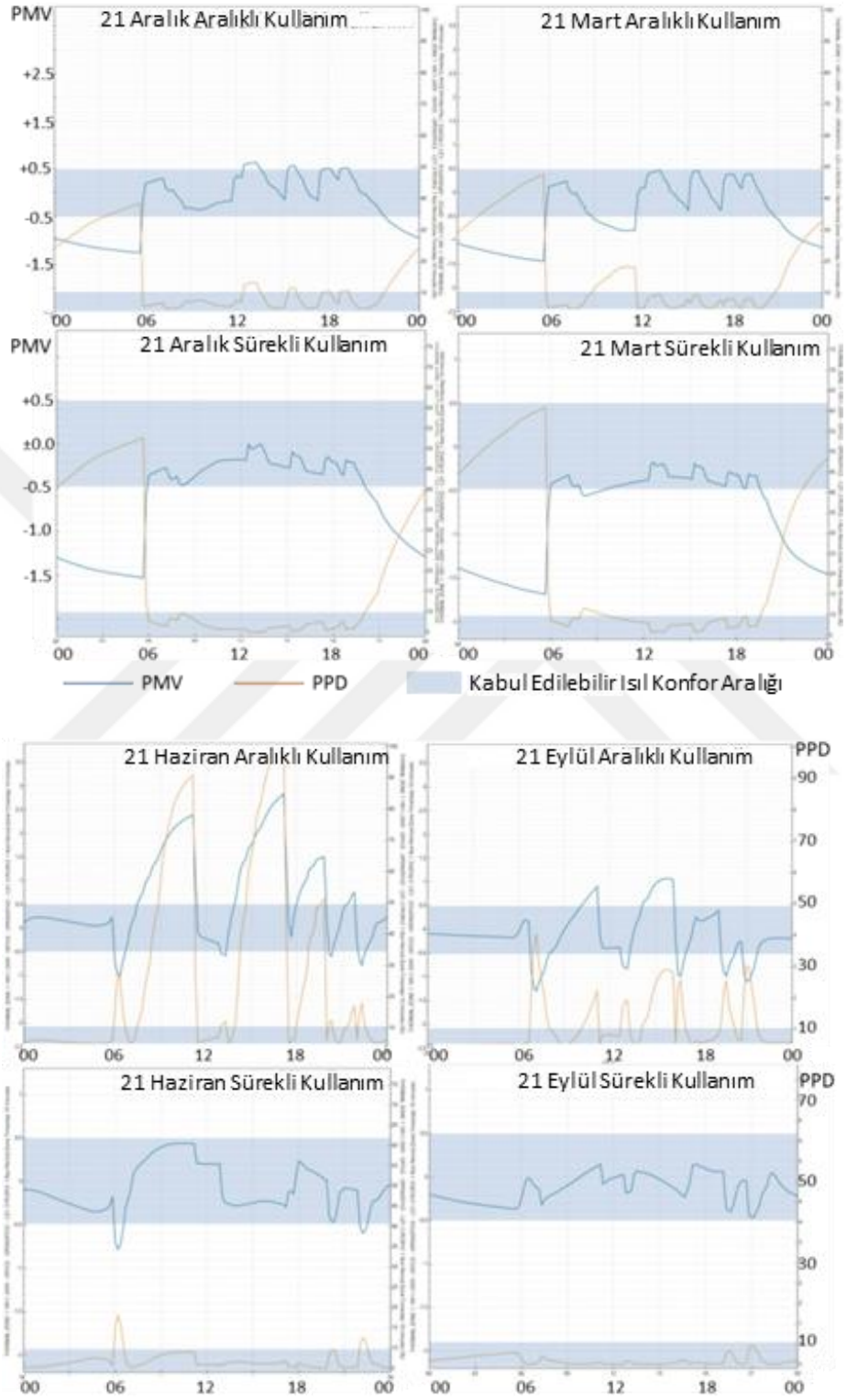
6.2.2 Standartlara Göre Isıl Konfor Seviyeleri

Camilerin tasarım senaryoları; plan tipi (kare, dikdörtgen, daire), büyüklük tipi (büyük, orta, küçük) ve çatı tipinin (tek kubbe, çok kubbe, piramit çatı ve düz çatı) HVAC sistem türlerine göre incelenmiştir. Senaryoların enerji tüketim değerlerine göre karşılaştırılması sırasında iç ortam ısıl konfor seviyesi kabul edilebilir aralıklarda tutulmaktadır. Kabul edilebilir ısıl konfor karşılaştırmaları belirlenen standartlardaki değerlere göre yapılmıştır. (Uluslararası Standardizasyon Örgütü 7730–2005 (ISO 7730) ve Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği 55–2017 (ASHRAE 55), -0,5 < PMV < +0,5 ve PPD < 10) [22], [26]. Isıl konfor modelleri ile ilgili yapılan çalışmalarda ATHB ve aPMV modellerinin kullanıcı algısına daha yakın olduğu analizlerde belirlenmiştir. Ancak PMV modeli, hem simülasyon programlarında kullanılabiliyor olması hem de geçmişten günümüze literatürde yapılan çalışmalarda daha fazla yer edinmiş olması nedeniyle senaryoların ısıl konfor analizlerinde kullanılmıştır.

6.2.3 Kullanım Programı ve Saatlik Hava Değişiminin Camilerin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi

Aralıklı kullanım senaryolarında özellikle toplu namaz vakitlerinde kabul edilebilir düzeyde ısıl konfor sağlanmaya odaklanılmıştır. Ancak toplu namaz vakitleri dışında HVAC sisteminin çalışması durdurulmuştur. Sürekli kullanım programlarında namaz saatlerinde ısıl konfor düzeyini sağlayacak şekilde sistem performansı düzenlenmiştir. Sürekli kullanım programlarında toplu namaz saatleri arasındaki vakitlerde iç ortam ısıl konfor sınırları içerisinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 6.13'te örnek günlerdeki aralıklı kullanım çizelgelerine ve sürekli kullanım çizelgelerine göre camilerin iç mekân ısıl konfor düzeyleri gösterilmektedir. Ayrıca iç ortam ısıl konfor düzeyleri, yılın diğer günlerinde örnek günlerdeki değerlerle benzerlik göstermektedir. Sürekli kullanım şemasında caminin tüm kullanım saatlerinde (toplu ve bireysel kullanım) kabul edilebilir ısıl konfor düzeyine ulaşıldı. Aralıklı kullanım planına göre soğutma döneminde toplu namaz saatleri dışında HVAC sisteminin kapatılması nedeniyle iç ortam kabul edilebilir konfor seviyelerinin dışında kalmıştır. Sistem performansı artırılarak toplu namaz saatleri arasındaki vakitlerde iç ortam kabul edilebilir bir ısıl konfor düzeyine getirilmeye çalışılmıştır. Ancak belirlenen süre içerisinde kabul edilebilir

ısıl konfor tam olarak sağlanamamıştır. Sistemin kapanmasıyla birlikte ani değişimlerle iç ortam rahatsızlık verecek seviyeye ulaşmaktadır.



Şekil 6.13 Kullanım programlarına göre ısıl konfor düzeyleri

Tablo 6.12'de fancoil sistemli cami senaryolarının aralıklı ve sürekli kullanım çizelgelerine göre enerji tüketimi gösterilmektedir. Enerji tüketimi sonuçlarına göre, ısıtma döneminde aralıklı kullanım programında daha fazla enerji tüketimi söz konusudur. Bununla birlikte soğutma döneminde sürekli kullanım programında aralıklı kullanıma göre daha fazla enerji tüketimi olmuştur. Ancak aralıklı kullanım programının soğutma dönemi boyunca ısıl konfor seviyesi kabul edilebilir ısıl konfor aralıklarının dışındadır. Aralıklı kullanım programında kabul edilebilir seviyede ısıl konfor sağlamak amacıyla ısıtma periyodu boyunca HVAC sistemi maksimum performansta çalıştırılmıştır. Bu durum ısıl konforu kısa sürede sağlayamayacak kadar fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Ayrıca soğutma döneminde, aralıklı kullanım programında toplu namaz saatleri dışında iç ortam kabul edilebilir ısıl konfor aralıklarının dışında kalmıştır. Soğutma döneminde aralıklı kullanım programında sürekli kullanıma kıyasla daha az enerji tüketimiyle karşılaşılmıştır. Toplam tüketime bakıldığında aralıklı kullanım programında %8 daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu çalışmada aralıklı kullanım programı kabul edilebilir ısıl konfor düzeyini sağlamakta yetersiz kalmaktadır.

Tablo 6.12 Kullanım programlarına göre senaryoların enerji tüketim miktarları

Kullanım Türü	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	Birim Alan (kWh/m^2)	Birim Hacim (kWh/m^3)
Aralıklı Kullanım	89169.45	28800.00	143613.9	159.57	12.95
Sürekli Kullanım	61677.78	47869.44	131991.7	146.66	11.90

Binaların hava sızdırmazlığı, doğrudan dış ortamdan iç ortama doğru oluşan istenmeyen hava akımından oluşur. İstenmeyen hava sızıntısı genellikle dış ortama bakan kapı ve pencerelerin açılıp kapanması ya da yapı elemanlarındaki küçük boşluklardan kaynaklanır. Bu durum iç mekân havasını kontrolsüz değiştirir ve enerji tüketiminin artmasına veya ısıl konforun değişmesine neden olabilir. Bu bölümde camilerde saat başına hava değişiminin (istenmeyen hava sızıntısının) ısıl konfor ve enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Senaryolarda iç ortam hava değişimleri 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ach olacak şekilde düzenlenmiştir. Tüm senaryolarda iç mekân ısıl konforu örnek günlerde ve yılın diğer günlerinde kabul edilebilir aralıklardadır.

Tablo 6.13'te senaryoların saat başına hava değişimlerine göre enerji tüketim miktarları ve karşılaştırmaları gösterilmektedir. Saatteki hava değişimlerine göre ısıtma döneminde maksimum enerji tüketimi 1.0 ach, soğutma döneminde ise maksimum enerji tüketimi 2 ach'tır. Toplamda en yüksek enerji tüketimi 0.5 ach göre %5,93 farkla 2 ach koşulunda gerçekleşti. Senaryolara göre enerji tüketiminde saat başına hava değişimleri arasında en büyük fark soğutma döneminde yaşanmaktadır. Cami gibi çok farklı kullanıcı tipinin ve çok sayıda insanın kullandığı binalarda iç ortamda gerçek koşullarda 0.2 ach gibi durumu oluşturmak zor bir durumdur. Bu nedenle çalışmada saat başına iç ortam hava değişimi 0.5 ach senaryo oluşturulması önerilmektedir. Isı enerjisi sıcak ortamdan soğuk ortama aktarılır. Bu nedenle ısıtma periyodunda saat başına hava değişiminin yüksek olması dış ortama ısı transfer miktarını ve hızını artırır. Soğutma süresi boyunca istenmeyen sıcak hava iç ortama doğru hareket eder. Bu faktörler hem ısıtma döneminde hem de soğutma döneminde enerji tüketimini arttırmaktadır.

Tablo 6.13 Saatlik Hava değişim oranlarına göre enerji tüketim düzeyleri

Hava Değişim Oranı	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	kWh/m^2	kWh/m^3
0.2 ach	60647.22	46666.67	129708.3	144.12	11.69
0.5 ach	61122.22	47869.44	131991.7	146.66	11.90
1 ach	62213.89	50302.78	135061.1	150.07	12.17
1.5 ach	61458.33	53013.89	137097.2	152.33	12.36
2 ach	61316.67	55666.67	139816.7	155.35	12.60

6.3 Camilerin Plan, Boyut ve Çatı Özelliklerine Göre HVAC Sistem Tiplerinin Enerji Tüketimi Karşılaştırılması

Çalışmada cami tasarımında en çok tercih edilen basit plan türlerinden kare, dikdörtgen ve daire plan şemalarının enerji tüketim miktarları HVAC sistem türlerine göre analiz edilmiştir. Ayrıca üst örtü tipinin enerji tüketimine etkisini incelemek için tek kubbe, çok kubbe, piramidal (topuz) çatı ve düz çatı tiplerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Plan ve çatı senaryolarında alan ve hacim büyüklükleri birbirine eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Değerlendirmeler birim alandaki enerji tüketimi üzerinden yapılmıştır. Aynı zamanda plan, boyut ve çatı tiplerine uygun HVAC sisteminin belirlenmesi amacıyla beş farklı sisteme göre enerji tüketim düzeyi karşılaştırmaları yapılmıştır. Tablo 6.14'de tasarım

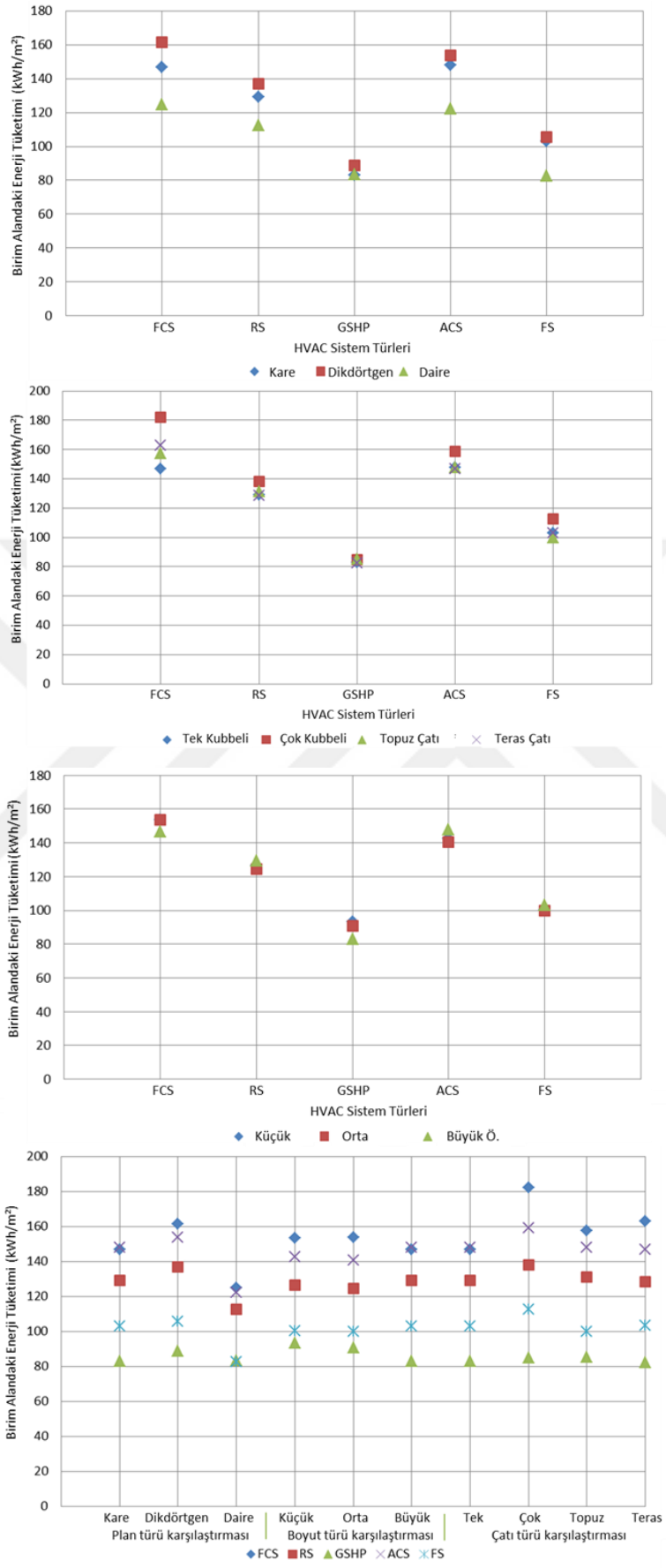
kriterlerine ve HVAC sistem tiplerine göre birim alan başına enerji tüketimi gösterilmektedir.

Tablo 6.14 Tasarım kriterleri ve HVAC sisteme göre enerji tüketim değerleri

Tasarım Kriterleri		Sabit Kriter	FCS (kWh/m^2)	RS (kWh/m^2)	GSHP (kWh/m^2)	ACS (kWh/m^2)	FS (kWh/m^2)
Plan Türü	Kare	Büyük ölçek Tek kubbe	146.66	129.19	82.90	148.02	103.01
	Dikdörtgen		161.55	136.89	88.71	153.66	105.50
	Daire		124.73	112.53	83.39	122.21	82.47
Boyut Türü	Küçük ölçek	Kare plan Tek kubbe	153.48	126.54	93.39	142.38	100.15
	Orta ölçek		153.57	124.59	90.74	140.61	99.87
	Büyük ölçek		146.66	129.19	82.89	148.01	103.00
Çatı Türü	Tek kubbeli	Kare plan Büyük ölçek	146.66	129.19	82.89	148.01	103.00
	Çok kubbeli		182.12	138.01	84.77	158.91	112.46
	Topuz çatı		157.37	131.15	85.43	147.87	100.04
	Teras çatı		163.02	128.45	82.31	146.70	103.20

* FCS: Fan coil sistem, RS: sıcak sulu radyatörle ısıma ve chiller tipi soğutma sistemi, GSHP: Toprak kaynaklı ısı pompası, ACS: Duvar tipi split klimalar, FS: yerden ısıtma ve soğutma sistemi

Şekil 6.14'te plan tipi (a), boyut tipi (b) ve çatı tipine(c) göre HVAC sistem tiplerinin (d) birim alan başına enerji tüketimi gösterilmektedir. Bu senaryolarda kare ve dikdörtgen plan şemaları için tasarım parametrelerinden büyük ölçek ve tek kubbe sabit tutulmuştur. Dairesel plan şeması büyük ölçektedir. Senaryolarda HVAC sistem tiplerine göre birim alan başına enerji tüketimi genellikle daire plan şemasında en düşük seviyede görülmektedir. En yüksek enerji tüketimi dikdörtgen plan şemasındadır. Dikdörtgen plan şemasının geniş cephesi güneydoğu-kuzeybatı doğrultusuna dik açıyla konumlanmaktadır. Bu hem soğutma yükünün hem de caminin ısıtma yükünün artmasına neden olmuştur. Bu senaryolarda kare plan şeması ve tek kubbeli üst örtü sabit tasarım kriteri olarak belirlenmiştir. Birim alan başına enerji tüketimi en az GSHP ve FS sistemlerinde görülmektedir. En yüksek enerji tüketimi FCS ve ACS sistemlerinde görülmektedir. Birim alan başına maksimum ve minimum enerji tüketimi plan boyutlarına göre değişmektedir. Kare plan şeması ve büyük ölçekli tasarım parametreleri sabit özellikler olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada dört çatı tipi ve beş farklı HVAC sistemi arasındaki ilişki enerji tüketimi açısından araştırılmıştır. Çatı tiplerine göre birim alan başına en fazla enerji tüketimi genellikle çok kubbeli tasarımda olmaktadır. Diğer çatı çeşitleri arasında çatının HVAC sisteminin tipine göre farklılıklar bulunmaktadır.



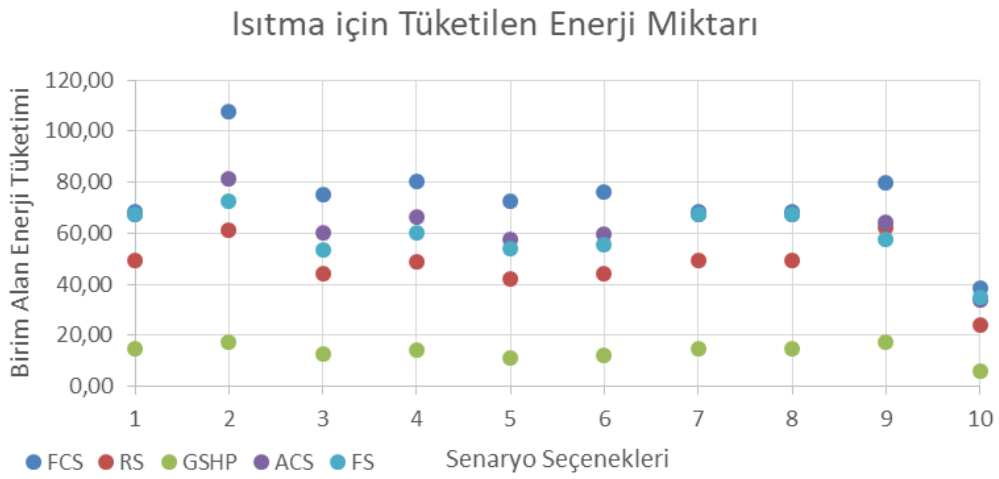
Şekil 6.14 Tasarım kriterlerine göre senaryoların enerji tüketim değerleri

Tablo 6.15'te ısıtma için tüketilen enerji miktarı ve Tablo 6.16'da soğutma için tüketilen enerji miktarı gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da senaryo seçeneklerine göre ısıtma ve soğutma için tüketilen enerji miktarının grafikleri gösterilmektedir. Isıtma için tüketilen enerji miktarında, HVAC sistem türlerine göre en fazla enerji tüketimi FCS'de olmuştur. En az enerji tüketimi GSHP sonrasında RS türlerinde olmuştur. Soğutma için tüketilen enerji miktarında, HVAC sistem türlerine göre en fazla enerji tüketimi ACS ve RS türlerinde olmaktadır. Bu durumun gerçekleşmesinde RS türünde soğutma sisteminin klimalardan oluşması neden olmuştur. En az enerji tüketimi GSHP ve FS sistemlerinde görülmektedir. Senaryo seçenekleri arasında ısıtma için en az enerji tüketimi daire plan şemasında olurken en fazla tüketim çok kubbeli üst örtü türünde gerçekleşmiştir. Soğutma için en az enerji tüketimi tek kubbeli kare plan şemasında olurken, en fazla enerji tüketimi dikdörtgen plan şemasında gerçekleşmiştir. Senaryo seçenekleri ve HVAC sistem türleri arasında enerji tüketim miktarı arasında değişkenlikler söz konusudur. Bu nedenle birçok parametrenin etkin olduğu tasarım ve kullanım sürecinde ısıl konfor koşullarının sağlandığı, enerji tüketiminin en az düzeyde olduğu analizlerin yapılarak tasarımcı ve kullanıcıların karar alması gerekmektedir. Bununla birlikte ısıtma ve soğutma için tüketilen enerjinin yanı sıra HVAC sistemlerin gerektirdiği pompa enerjisi, sistem performans katsayıları gibi kriterler enerji tüketimini etkilemektedir. Analizlerde bu parametreler de dikkate alınmalıdır.

Tablo 6.15 Tasarım kriterleri ve HVAC sisteme göre ısıtma için enerji tüketimi

Tasarım Kriterleri		Sabit Kriter	FCS (kWh/m²)	RS (kWh/m²)	GSHP (kWh/m²)	ACS (kWh/m²)	FS (kWh/m²)
Plan Türü	Kare (1)	Büyük ölçek Tek kubbe	68,53	49,29	14,50	67,22	67,31
	Dikdörtgen (2)		79,59	62,38	17,38	64,09	57,58
	Daire (3)		38,40	24,22	6,00	33,60	34,97
Boyut Türü	Küçük ölçek (4)	Kare plan Tek kubbe	72,31	42,24	11,15	57,68	54,20
	Orta ölçek (5)		76,08	44,21	12,38	59,86	55,71
	Büyük ölçek (6)		68,53	49,29	14,50	67,22	67,31
Çatı Türü	Tek kubbeli (7)	Kare plan Büyük ölçek	68,53	49,29	14,50	67,22	67,31
	Çok kubbeli (8)		107,79	61,11	17,44	81,56	72,37
	Topuz çatı (9)		75,11	44,14	12,91	60,08	53,40
	Teras çatı (10)		80,44	48,99	14,34	66,43	59,98

* FCS: Fan coil sistem, RS: sıcak sulu radyatörle ısıma ve chiller tipi soğutma sistemi, GSHP: Toprak kaynaklı ısı pompası, ACS: Duvar tipi split klimalar, FS: yerden ısıtma ve soğutma sistemi

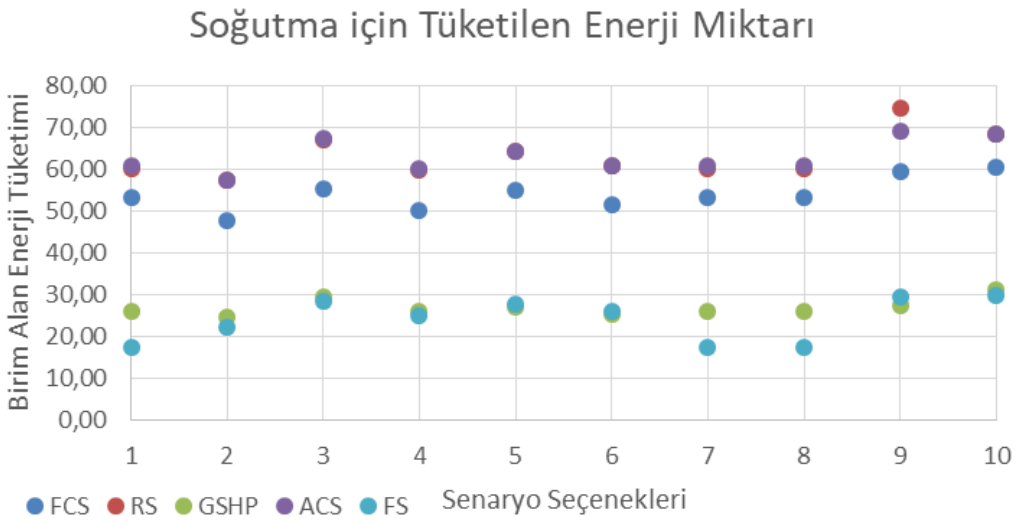


Şekil 6.15 HVAC sistem türlerine göre senaryoların enerji tüketim miktarı (Kare (1), Dikdörtgen (2), Daire (3), Küçük ölçek (4), Orta ölçek (5), Büyük ölçek (6), Tek kubbeli (7), Çok kubbeli (8), Topuz çatı (9), Teras çatı (10))

Tablo 6.16 Tasarım kriterleri ve HVAC sisteme göre soğutma için enerji tüketimi

Tasarım Kriterleri		Sabit Kriter	FCS (kWh/m²)	RS (kWh/m²)	GSHP (kWh/m²)	ACS (kWh/m²)	FS (kWh/m²)
Plan Türü	Kare (1)	Büyük ölçek Tek kubbe	53,19	60,28	26,22	60,72	17,50
	Dikdörtgen (2)		59,53	74,51	27,56	69,00	29,53
	Daire (3)		60,61	68,44	31,32	68,44	29,75
Boyut Türü	Küçük ölçek (4)	Kare plan Tek kubbe	54,97	64,42	27,11	64,42	27,77
	Orta ölçek (5)		51,58	60,69	25,54	60,71	26,03
	Büyük ölçek (6)		53,19	60,28	26,22	60,72	17,50
Çatı Türü	Tek kubbeli (7)	Kare plan Büyük ölçek	53,19	60,28	26,22	60,72	17,50
	Çok kubbeli (8)		47,90	57,35	24,74	57,36	22,24
	Topuz çatı (9)		55,21	66,98	29,68	67,39	28,40
	Teras çatı (10)		50,08	59,81	25,95	60,26	25,15

* FCS: Fan coil sistem, RS: sıcak sulu radyatörle ısıma ve chiller tipi soğutma sistemi, GSHP: Toprak kaynaklı ısı pompası, ACS: Duvar tipi split klimalar, FS: yerden ısıtma ve soğutma sistemi



Şekil 6.16 HVAC sistem türlerine göre senaryoların enerji tüketim miktarı (Kare (1), Dikdörtgen (2), Daire (3), Küçük ölçek (4), Orta ölçek (5), Büyük ölçek (6), Tek kubbeli (7), Çok kubbeli (8), Topuz çatı (9), Teras çatı (10))

6.4 Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Cami senaryolarında enerji tüketim miktarları tasarım kriterlerine ve HVAC sistem tiplerine göre değişmektedir. Ancak RS, FS ve GSHP sistemleri genel olarak birim alan başına en düşük enerji tüketimine sahip HVAC sistemleridir. FCS ve ACS sistemleri birim alan başına en yüksek enerji tüketimine sahip sistemlerdir. Tasarım kriterlerindeki ortalama enerji tüketimine göre FCS (153,5 kWh/m^2), GSHP'den

(85,7 kWh/m^2) %79, FS'den (101,2 kWh/m^2) %51 daha fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Benzer şekilde ACS (145,6 kWh/m^2) ortalama enerji tüketimi, GSHP'den %70, FS'den ise %44 daha fazla enerji tüketimi olmuştur. Çalışmaya göre cami iç mekânlarının ışınımsal yolla iklimlendirilmesi fan sistemlerine göre daha az enerji tüketmektedir. Plan şemalarına göre birim alan başına en az enerji tüketimi daire plan şemasında olmuştur. HVAC sistemlerinin ortalama enerji tüketim değerlerine göre daire plan tipinde (105,06 kWh/m^2), dikdörtgen plan tipine (129,2 kWh/m^2) göre %23 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Cami büyüklüklerinin HVAC sistemi ortalama enerji tüketim değerleri birbirine yakındır. HVAC sistemlerinin çatı tipine göre ortalama enerji tüketim değerleri incelendiğinde, tek kubbeli tasarımda (121,9 kWh/m^2), çok kubbeli tasarıma (135,2 kWh/m^2) göre %10 daha az enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Benzer şekilde çok kubbeli tasarım senaryosu piramidal (108,7 kWh/m^2) ve düz çatı tipine (108,4 kWh/m^2) göre %8 daha fazla enerji tüketmektedir.

Boyutları ve hacimleri benzer olsa da daire plan şemasının kompakt formu enerji tüketiminin az olmasında etkilidir. Başka bir çalışmada sıcak kuru iklim bölgesinde benzer bir durum söz konusudur. Sekizgen plan tasarımı, kare ve dikdörtgen plan tipine göre daha az enerji tüketimine neden olmuştur. Ayrıca pasif sistem tasarımlarının tek başına ısıl konforu sağlamak için yeterli olmayacağı ancak yıllık toplam enerji tüketimini %10'a kadar azaltabilecekleri yazarlar tarafından belirtilmiştir [20]. Bu çalışmada pasif tasarım kriterlerinden biri olan sadece çatı tipinin değiştirilmesiyle yıllık enerji tüketiminde %10'a varan oranda tasarruf sağlanabileceği görülmektedir. Dikdörtgen planlı camilerin geniş cephesi güneydoğu-kuzeybatı yönüne diktir. Bu, soğutma döneminde daha fazla güneş ışınımına, ısıtma döneminde ise daha soğuk hava akışına maruz kalmayı artırır. Çok kubbe tasarımda diğer çatı tiplerine göre birim alan başına daha fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Çok kubbe tasarımı, tek kubbe, piramit ve düz çatıya kıyasla iç mekân hava sirkülasyonunu değiştirmeyi zorlaştırır. Birim alan başına en az enerji tüketimi diğer çatı tiplerinde farklılık göstermektedir.

Günümüzde camilerin HVAC sisteminin kullanım programları iklim farklılıkları, HVAC sistem tipi, personel bulunabilirliği ve ekonomik kaygılardan dolayı değişiklik göstermektedir. Bu durum kontrol edilemeyen enerji tüketiminin artmasına veya iç ortamın ısıl konforunun kabul edilebilir aralıklarının dışına

çıkmasına neden olabilir. Aralıklı kullanım programlarında HVAC sistemleri, iç ortamda kısa sürede kabul edilebilir ısıl konfor aralıklarını sağlamak amacıyla yüksek performansta çalıştırılmaktadır. Bu çalışmada yer alan değerler incelendiğinde sürekli kullanım programı hem ısıl konforun kabul edilebilir seviyede olmasına hem de enerji tüketiminin daha düşük seviyede kalmasına neden olmaktadır. FCS, zorlanmış taşınımlı bir iklimlendirme sistemidir. Cami gibi büyük hacimli yapıların zorlanmış taşınımlı sistemle kısa sürede uygun ısıl konfor seviyesine ulaşması yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Başka bir çalışmada bu durum vurgulanmıştır. Çalışmada yerden ısıtma sistemi (82,2 kWh ve 88,3 kWh) elektrikli radyatörlere (203,1 kWh) ve split klimalara (215,1 kWh) göre daha az enerji tüketmektedir [64].

Aralıklı ve sürekli kullanım programlarının enerji tüketimi, iklim koşullarına ve diğer parametrelere (HVAC sistem tipi, çalışma kontrolü, ısıl konfor düzeyi) göre değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada toplam tüketim açısından aralıklı kullanımda (159,57 kWh/m^2), sürekli kullanıma (146,66 kWh/m^2) göre %8 daha fazla enerji tüketilmektedir. HVAC tipinin seçimi, iklim tipine, cami büyüklüğüne ve kullanım stratejilerine uygun kullanım programına göre seçilmelidir.

Yeni inşa edilen kamusal binalarda hava sızdırmazlığı daha az olmaktadır. Bu durum giriş ve çıkış kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi, rüzgâr kesici tasarımların olması, açıklık filtre sistemlerinin geliştirilmesi vb. ile sağlanabilir. Bu çalışmada saatlik hava değişim oranına ilişkin beş farklı senaryo incelenmiştir. En az enerji tüketimi en az hava sızmasının olduğu senaryoda (0,2 ach) gerçekleşmiştir. En yüksek enerji tüketimi 2,0 ach senaryosundadır. Bu da kapalı ortama ne kadar az hava sızması olursa enerji tüketiminin de o kadar az olacağını göstermektedir. Camilerin hacmine bağlı olarak hava sızması 0,5 ach kadar azaltıldığında yıllık soğutma yükünde %10'a kadar azalma sağlanabilmektedir [92]. Kamusal binalarda hava sızması, değişken kullanıcı tipi ve sayısı nedeniyle konutlar gibi özel binalara göre daha zordur. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda 0,5 ve 1,0 ach'in referans olarak kullanılabileceği önerilmektedir [92].

7
DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamındaki bulgular ışığında tasarım önerileri ve değerlendirme kararları elde edilmiştir. Tezin kurgusuna göre bulgular; ısıl konfor analizleri, yapı kabuğu değerlendirmeleri ve tasarım senaryoları olmak üzere üç başlık altında düzenlenmiştir.

7.1 Isıl Konfor Modelleri Analizi

Çalışmadaki iç mekân ısıl konfor düzeyi açısından, ısıl konfor modellerinin sonuçları ile kullanıcı ısıl duyumlarının sonuçları birbirinden farklıdır. Bununla birlikte konfor modelleri arasında da farklı sonuçlar bulunmuştur. Konfor modelleri kullanıcı algısına göre ortamı daha sıcak bulmuştur. Ölçülen ısıl konfor parametreleri ve kullanıcı hissi sonuçları tutarlıdır. Kullanıcı algısına en anlamlı ve en yakın sonuç aPMV ve ATHB modellerinden elde edilmiştir. ATHB modeli diğer modellere göre kullanıcı algısı ile daha yakın bir korelasyona sahiptir.

Kapalı mekânların ısıl durum düzeyinin belirlenmesi süreci, ölçüm sonuçlarının ve ısıl konfor modellerinin kontrol edilmesini gerektirir. Bu çalışmada geçmişten bu güne kullanılan ve geliştirilen ısıl konfor modellerinin karşılaştırılarak modellerin tutarlılığının test edilmesinin gerekli olduğu tespit edilmiştir.

7.2 Optimum Yapı Kabuğunun Belirlenmesi

Cami gibi büyük hacimli binaların çatı kubbe organizasyonunda yapılacak ısı yalıtım iyileştirmeleri, duvar ve temellere göre enerji tasarrufunda daha fazla katkı yapmıştır. Yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının artması enerji tasarrufuna olumlu katkı sağlamıştır. Ancak belli bir kalınlıktan sonra enerji tasarrufu oranı sabit/dengede kalmıştır. Dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi önemlidir.

Çalışma kapsamında oluşturulan yapı kabuğu ısı iletkenlik katsayısı senaryolarının oluşturulması ve karşılaştırılması tez çalışması döneminde yürürlükte olan TS 825–2013 değerlerine göre yapılmıştır. Ancak tez çalışmasının bitimine yakın zamanda yayınlanan TS 825–2024 versiyonu 3. Bölge için tavsiye edilen ısı iletkenlik

katsayısı değerleri incelendiğinde, bu çalışmadaki optimum kabuk senaryosunda erişilen U değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, bu tez çalışmasındaki ısı iletkenlik katsayısı seçimi ile örtüşmektedir. Saydam alanların standarttaki 2024 versiyonu değerleri 2013 versiyonu ile aynı bırakılmıştır. Tez çalışması kapsamında ise ısı iletkenlik katsayısı düşük özellikli camlar seçilmiştir. Tablo 6.1.'de yapı bileşenlerine göre standarttaki ve bu çalışmadaki tavsiye edilen değerler gösterilmektedir.

Tablo 7.1 TS 825 – 2013 ve 2024 ile tez çalışmasının optimum kabuk U değerleri

Yapı Bileşenleri	**U_D Değeri**	**U_T Değeri**	**U_t Değeri**	**U_P Değeri**
2013 Değerleri	0,57	0,38	0,57	1,8
2024 Değerleri	0,4	0,3	0,35	1,8
Optimum Kabuk D.	**0,34**	**0,25**	**0,26**	**0,9**

Zeminin ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu üzerinde minimum etkisi olmuştur. Yapılan iyileştirmeler ile optimum kabuk senaryosunda enerji tüketimi referans senaryoya göre %33 oranında azalmıştır. Camilerin yapı kabuğu saydamlık oranında %25, %50 ve %75 seçeneklerinde ısıl konfor sağlanırken, minimum enerji tüketimi %25 ve %50 saydamlık oranında sağlanmıştır. İç ortamdaki soğutma enerjisi yükü azalmış olsa da yapı kabuğunun saydamlık oranının %15 ve %25'e düşürülmesi ısıtma yükünü artırmıştır. Yapı kabuğunun %75'lik saydamlık oranı, referans senaryoya göre %13 daha fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Isı iletim katsayısını iyileştirmeden %75 saydamlık oranına sahip kabukta gölgeleme elemanlarının kullanılması %16 daha fazla enerji tüketimine neden olmuştur.

Ilıman nemli iklimlerde gölgelendirme elemanı kullanılması soğutma enerjisi yükünü azaltmıştır. Ancak ısıtma enerjisi yükünde artış yaşanmıştır. Gölgelendirme elemanı, saydam alanların ısı iletim katsayısındaki iyileşme ile birlikte kullanıldığında enerji tüketimi açısından en olumlu etkiyi sağlamıştır. Yapı kabuğunda yatay-düşey veya örüntü gölgeleme elemanlarının (%50 saydamlık oranında) kullanılması da benzer enerji tasarrufu sağlamıştır. Gün ışığı kazanımı ile birlikte değerlendirildiğinde çalışma kapsamında yönlere bağlı olarak yatay ve düşey gölgeleme elemanlarının kullanımı daha uygun olduğu görülmüştür.

7.3 HVAC Sistem Türüne göre Tasarım Senaryoları

Cami tasarımı senaryolarında enerji tüketim miktarı HVAC sistem tiplerine göre değişmektedir. Ancak RS, FS ve GSHP sistemleri genel olarak birim alan başına en düşük enerji tüketimine sahip HVAC sistemleridir. FCS ve ACS sistemleri birim alan başına en yüksek enerji tüketimine sahip sistemlerdir. Tasarım parametrelerinin ortalama enerji tüketim değerlerine göre FCS'de ortalama enerji tüketimi, GSHP'de ortalama %79, FS'de ise %51 daha fazla enerji tüketmiştir.

İç ortamın ışınımsal yolla iklimlendirilmesi, fan sistemli ekipmanlara göre daha az enerji tüketimine neden olmuştur. Tek kubbe, çok kubbe, piramit çatı ve yarım daire çatı tipleri ile karşılaştırıldığında birim alan başına en fazla enerji tüketimi genellikle çok kubbeli tasarımda olmaktadır.

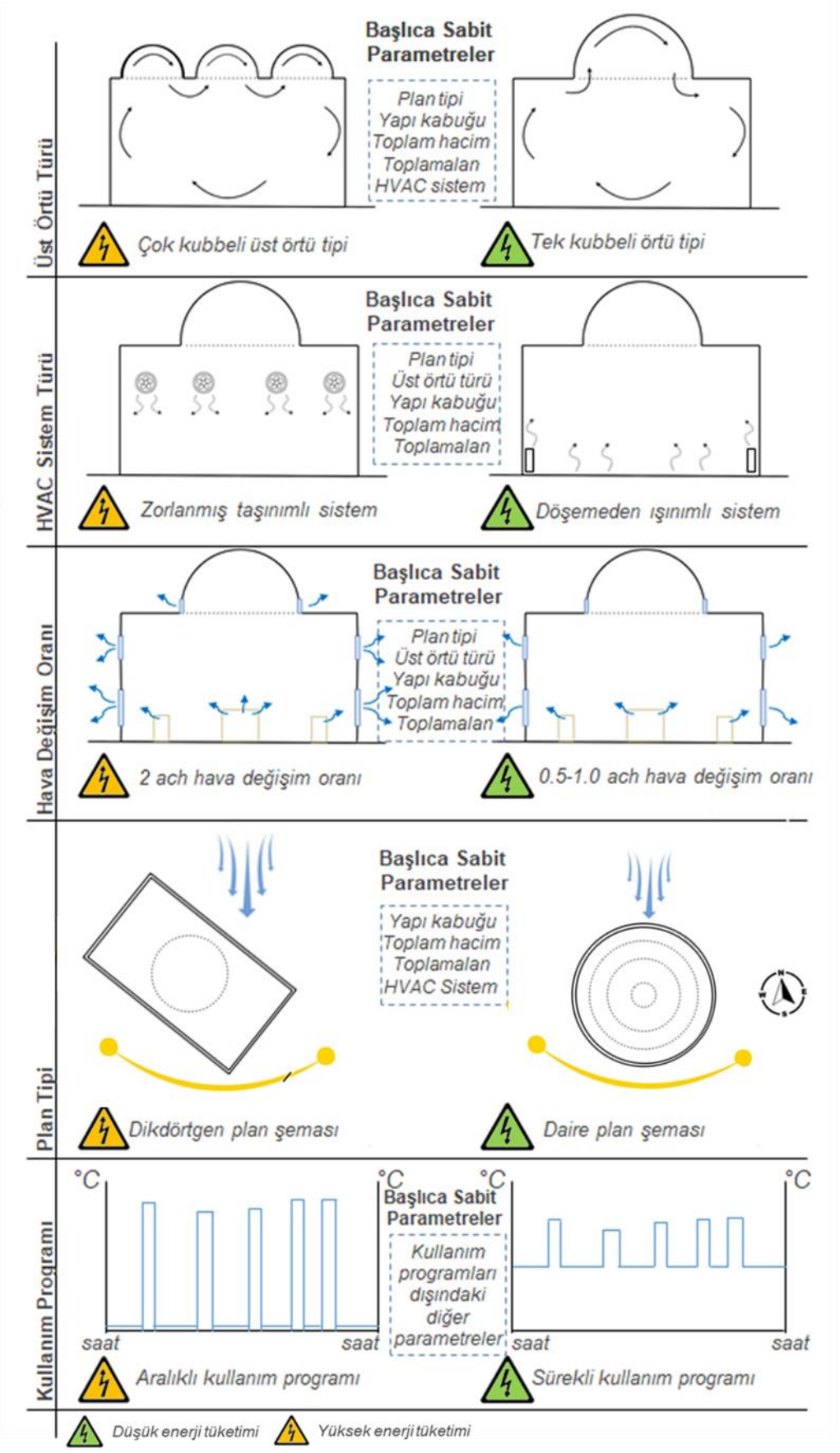
HVAC sistemlerinin çatı tipine göre ortalama enerji tüketim değerleri incelendiğinde, tek kubbeli tasarımda (121,9 kWh/m^2), çok kubbeli tasarıma (135,2 kWh/m^2) göre %10 daha az enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Camilerin büyüklüklerine göre HVAC sistemlerinin maks.–min. enerji tüketiminde farklılıklar vardır. Camilerin HVAC sisteminin ortalama enerji tüketim değerleri birbirine yakındır (%1,27). Toplam enerji tüketimi sürekli kullanımda (146,66 kWh/m^2), aralıklı kullanıma (159,57 kWh/m^2) göre %8 daha azdır. Camilerin saat başına hava değişimi senaryolarında en yüksek enerji tüketimi 0,5 ach'a göre %5,93 farkla 2 ach'ta gerçekleşmektedir.

7.4 Camilerin Enerji Etkin Tasarımı İçin Öneriler

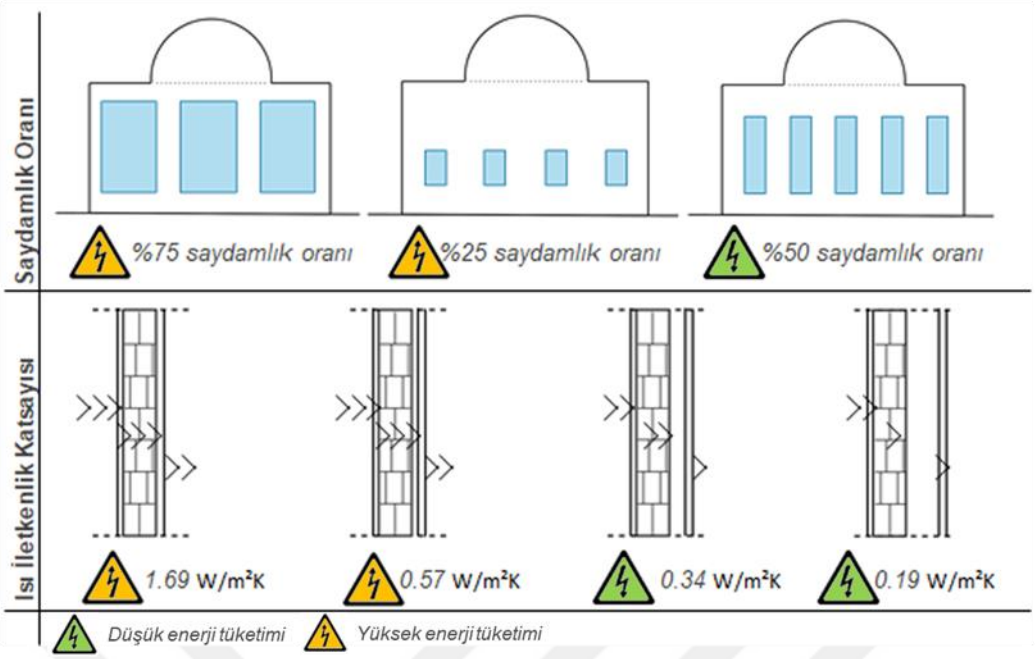
Şekil 7.1.'de camilerin tasarımına yönelik oluşturulan enerji etkin tasarım önerileri gösterilmektedir.

- Çok kubbeli örtü türündeki cami tasarımında, ısınan ve yükselen iç ortam hava devinimi döngüsünün kubbelerle zorlanması, kubbelerin birbirlerine gölge atma durumu gibi nedenlerden dolayı kompakt tek kubbeli örtü türü tasarımına göre daha fazla enerji tüketimi olmuştur (kubbelerin dış ortam toplam yüzey alanı yaklaşık olarak aynıdır).
- Döşemeden ısıtma veya radyatörlü ısıtma sistemleri zorlanmış taşınımlı sistemlere göre ısıl konforu sağlamada ve daha az enerji tüketmede başarılı olmuştur.

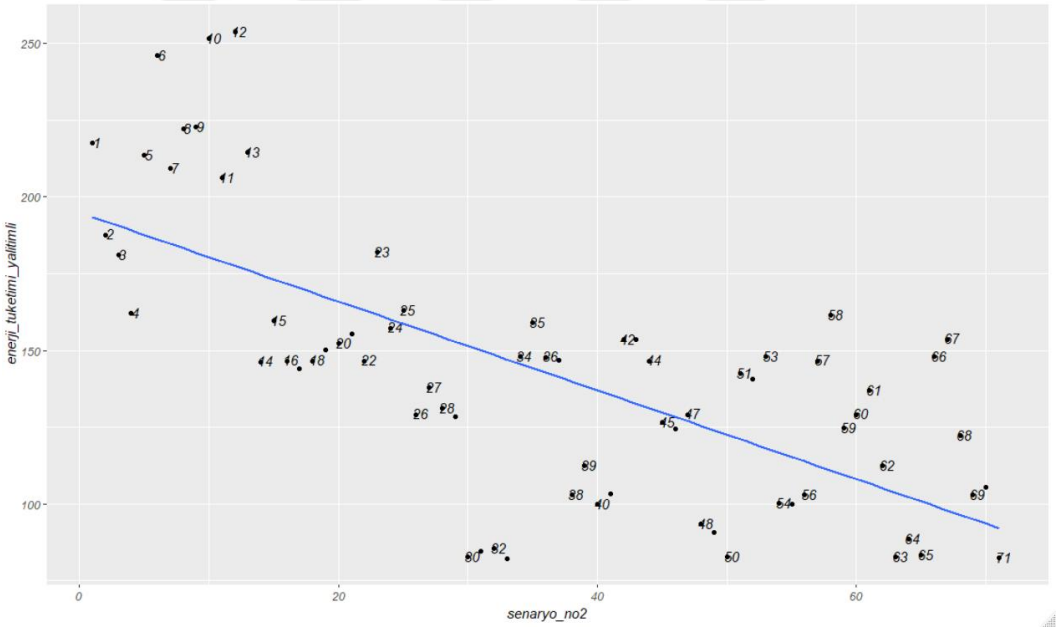
- İç ortamdan dış ortama istenmeyen hava sızıntısı oranının (ach) fazla olması enerji tüketiminin fazla olmasına neden olmaktadır. Yapı kabuğunda bulunan pencere, kapı gibi açıklıkların filtrasyonlarının uygun yapılması, otomatik kapı ve pencere detaylarında kasa–kanat bini sayısının fazla olması, girişte rüzgârlık kullanımı hava sızıntısını azaltan başlıca önlemlerdir.
- Plan tiplerine göre güneş ışınımına ve hâkim rüzgâr akımlarına ve dış ortam sıcaklığına hacmine oranla dışarıya açık yüzey alanı daha fazla olan dikdörtgen plan şemasında daha fazla maruz kalınması, kompakt tasarımlara göre enerji tüketim miktarını artırmaktadır.
- İç ortamı kısa sürede uygun ısıl konfor düzeyine getirmek için maksimum seviyede aralıklarla HVAC sistemin çalıştırılması, uygun düzeylerde ve set ayarlarında HVAC sistemin sürekli kullanımına göre fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Aynı zamanda aralıklı kullanım ısıl konfor sağlamada da başarısız olmuştur.
- Binalarda günışığından ve güneş enerjisinin ısıtıcı ışınlarından en yüksek düzeyde saydamlık oranının fazla olması ile yararlanılmaktadır. Ancak soğutma dönemi için bu durum enerji yüklerini artırmaktadır. Bu nedenle saydamlık oranının optimum seviyede tutulması, günışığı, güneş enerjisi, görüş açısı vd. parametreler açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma için %50 saydamlık oranı tasarımlarda kullanılmıştır.
- Isı iletkenlik katsayısının optimum düzeyde seçilmesi hem malzeme kullanımı ve gömülü enerji açısından hem de kullanım sırasındaki ısıtma ve soğutma için enerji tüketimi açısından kritiktir. Bu nedenle analizler yapılarak uygun ısı iletim katsayısının seçilmesi gerekmektedir.



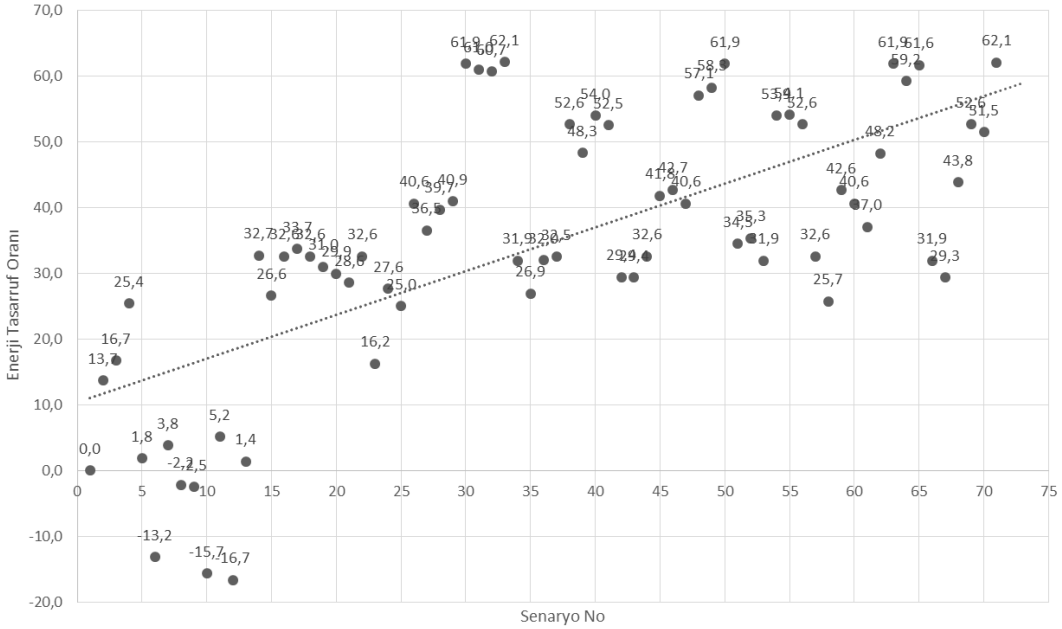
Şekil 7.1 Camilerin tasarımına yönelik öneriler



Şekil 7.1 Camilerin tasarımına yönelik öneriler (devamı)



Şekil 7.2 Senaryoların birim alana göre enerji tüketim miktarı (kWh/m^2)



Şekil 7.3 Referans senaryoya göre tasarım senaryolarının enerji tasarruf oranı

Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te senaryoların birim alan enerji tüketim düzeyleri ve enerji tasarruf oranları gösterilmektedir. Şekillerde ve Tablo 7.2'de gösterildiği üzere 1 numaralı senaryo referans senaryodur. Referans senaryo büyük ölçekli, tek kubbeli, kare planlı, FCS HVAC sistemine sahip, gölgelendirme elemanı kullanılmayan %50 saydamlık oranına sahiptir. Diğer senaryolar referans senaryonun yapı kabuğu, plan, alan, üst örtü değişiklikleri ve HVAC sistem özelliklerinin değişimi ile üretilen senaryolardır. Tablo 7.2'nin diğer senaryoların değişkenlerinin yer aldığı tablo Ek A'da gösterilmektedir. Tabloda ayrıca birim alan enerji tüketimi ve enerji tasarruf oranları gösterilmektedir. Şekil ve Tablolardan elde edilen verilere göre referans senaryodan en fazla enerji tasarrufu 33-71-30-50-63. senaryo numaralarında sırasıyla görülmüştür. Daire form, düz çatı ve Kare plan şemalarında, GSHP ve FS iklimlendirme sistemlerinin olduğu senaryolarda tasarrufu oranı fazladır. Kompakt tasarımların enerji tasarrufuna olumlu katkısı bu analizlerde de görülmektedir. Bununla birlikte ışınım yoluyla iç ortamın iklimlendirildiği/koşullandırıldığı HVAC sistemlerin kullanımı enerji tüketimini azaltmıştır. 12-10-6-9-8. numaralı senaryolarda sırasıyla referans senaryoya göre enerji tüketimi daha fazla olmuştur. Bu senaryoların referans senaryoya göre ortak değişkeni saydamlık oranı %75'e çıkarılmıştır. Yapı kabuğunda yapılan olumsuz değişimlerin enerji tasarrufu açısından negatif yönde katkı sağladığı görülmektedir.

Tablo 7.2 Referans senaryoya göre senaryoların birim alan ve enerji tasarrufu oranı

Değişken Kısaltması	**Senaryo açıklaması-değişkenler**	**Sıra no**	**Enerji tüketim miktarı (kWh/m^2)**	**Enerji tasarruf oranı (%)**
Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/düz çatılı/GSHP	33	82,3	62,1
Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan/FS	71	82,5	62,1
Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / GSHP	30	82,9	61,9
Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/GSHP	50	82,9	61,9
Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/RS	63	82,9	61,9

8
SONUÇ

Bu tez çalışmasının amacı camilerde kabul edilebilir ısıl konfor düzeyini sağlarken, farklı tasarım parametrelerine (yapı kabuğu ısı iletkenliği, saydamlık oranı, üst örtü türü, plan şeması, ölçek büyüklüğü vd. ve bu parametrelerin alt kriterleri) göre enerji tüketiminin en az düzeyde olması için bir yöntem geliştirmek ve yöntem aracılığıyla araştırmacılara, tasarımcılara ve kullanıcılara, tasarım ve kullanım önerileri sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan yönteme göre tasarım parametrelerinden oluşan senaryolar gerçek verilerle doğrulanmış simülasyon programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları incelenerek tasarım kriterlerinin enerji tüketim seviyeleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre bu çalışma, tasarım kriterleri arasındaki enerji tüketimi farklılıklarını karşılaştırarak araştırmacılar, kullanıcılar ve tasarımcılar için uygun tasarım seçeneklerini ortaya koymuştur.

Tez kapsamında camilerin tasarım yönünden tarihsel gelişimine kısaca değinilmiş, ağırlıklı olarak cumhuriyet sonrası dönemde yapılan çağdaş betonarme cami örnekleri ve günümüz yönetmelikleri incelenmiştir. Simülasyon programlarının doğrulanması için seçilen mevcut cami (Üsküdar Hz. Ali Cami) 2012-2013 yıllarında betonarme-karkas yapım sistemi ile inşa edilmiş, ılıman nemli iklim bölgesi İstanbul'da bulunmaktadır. Doğrulama için seçilen örnek cami 2011 yılı İstanbul İmar Yönetmeliğine ve TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre tasarlanmış bir camidir.

Bu çalışmada ısıl konfor modellerinin değerlendirilmesi için Karlsruhe/Almanya'da yaşayan 284 kişiye ısıl his anketleri yöneltilmiştir. Karlsruhe'de dini yapı türlerinden (en fazla sayıda bulunan) 3 cami ve 3 kilisede ısıl konfor ölçümleri yapılmıştır. Cami ısıl konfor senaryolarının enerji tüketim analizleri için 133 senaryo tasarlanarak simüle edilmiştir. Simülen edilen tasarımların tümünün ısıl konfor düzeyi kabul edilebilir aralıkta tutularak enerji tüketim düzeyleri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında getirilen öneriler ve değerlendirmeler yeni yapılacak ve son 10 yıllık dönemde yapılmış kullanımda olan camiler için oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasının amaç ve kapsamı neticesinde doktora tezinin değerlendirme ve öneriler bölümündeki bulgulara ulaşılarak bilim alanına katkıda bulunulmuştur. Bununla birlikte aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- PMV ortalama sonuçları, cami kullanıcılarının AMV ortalama sonuçlarına en uzak ısıl konfor modelidir. Kullanıcı algısına en yakın indeks camilerde ise aPMV indeksleridir. ATHB modelinin sonuçları kullanıcı algısına PMV ve aPMV'den daha yakındır.
- Yapı kabuğunda yapılan iyileştirmeler enerji tasarrufu açısından olumlu katkı yapmıştır. Ancak belli bir düzeyden sonra katkı düzeyi sabit kalmıştır. Temeldeki ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu üzerinde minimum etkisi olmuştur. Ancak cami gibi büyük hacimli binaların çatı/kubbe organizasyonunda yapılacak ısıl iyileştirmeler, duvar ve temellere göre enerji tasarrufuna daha fazla katkı sağlamaktadır.
- Optimum kabuk senaryosunda (yapı kabuğu U değeri iyileştirmesi, gölgelendirme elemanı kullanımı) toplam enerji tüketiminde referans senaryoya (Örnek A) göre %33 oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca hem ısıtma hem de soğutma için tüketilen enerjiden tasarruf edilmiştir.
- Kullanım programlarının enerji tüketimi sonuçlarına göre, ısıtma döneminde aralıklı kullanım programında daha fazla enerji tüketimi söz konusudur. Bununla birlikte soğutma döneminde sürekli kullanım programında aralıklı kullanıma göre daha fazla enerji tüketimi olmuştur.
- Toplam tüketime bakıldığında aralıklı kullanım programında %8 daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu çalışmada aralıklı kullanım programı kabul edilebilir ısıl konfor düzeyini sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Camilerin saat başına hava değişimi senaryolarında en yüksek enerji tüketimi 0,5 ach'a göre %5,93 farkla 2 ach'ta gerçekleşmektedir.
- Bu çalışmada yer alan değerler incelendiğinde sürekli kullanım programı hem ısıl konforun kabul edilebilir seviyede olmasına hem de enerji tüketiminin daha düşük seviyede kalmasını sağlamıştır.
- Çalışmaya göre cami iç mekânlarının ışınımsal yolla iklimlendirilmesi fan sistemlerine göre daha az enerji tüketmektedir. Plan şemalarına göre birim alan başına en az enerji tüketimi daire plan şemasında olmuştur.

Senaryoların boyutları ve hacimleri benzer olsa da daire plan şemasının kompakt formu enerji tüketiminin az olmasında etkilidir.

- Dikdörtgen plan şeması kare ve daireye göre daha fazla enerjinin tükendiği plan şemasıdır. Çok kubbeli üst örtü, diğer türlere göre enerji tüketiminin yüksek olduğu çatı türüdür.
- Camilerin enerji performansı, HVAC sistemin çalışma programı ve saydam alanın, yapı kabuğu ısıl özelliklerinin düzenlenmesi yoluyla iyileştirme çalışmaları ile artırılabileceği belirlenmiştir.
- Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda tek kubbeli üst örtü, yarım küre biçimindeki daire plan şeması ve ışınım yolu ile camilerin iklimlendirilmesi kabul edilebilir ısıl konfor düzeyi içerisinde ılıman nemli iklim bölgesi için enerjinin bu bina türünde etkin kullanımını sağlamaktadır.

Bu çalışma belirli bir kapsam ve sınırlılıklarda yapılmıştır. Değerlendirme ve öneriler bölümünde sunulan bulguların geliştirilmesi için belirtilen sınırlılıklar üzerine çalışmalar yapılması gerekmektedir.

- Bu çalışmada ısıl konfor modelleri ile kullanıcıların ısıl duyumu karşılaştırılmıştır. Isıl konfor modelleri belirli sınırlılıklarda (kişi sayısı, yaş aralığı, iklim, coğrafya vb.) oluşturulmaktadır. Ancak gerçek koşullarda farklı ve dinamik özellikler (iklim değişikliği, ısıl geçmiş, kişi ve cinsiyet farklılıkları vb.) bulunmaktadır. Bu nedenle binaların iç ısıl koşulları düzenlenirken hem standartlardaki koşullar hem de kullanıcıların ısıl algıları dikkate alınmalıdır. Böylece gerçek ısıl koşulların konfor düzeyi artırılacaktır. Bina tipi, kullanıcı sayısı, iklim, coğrafya ve ülke çeşitliliği artırılarak mevcut ısıl konfor modelleri geliştirilmelidir.
- Camilerin yönelimi, çevre binalarla ilişkisi, saydamlık oranı çeşitliliği, yapı kabuğunun ısıl ataleti, HVAC sistem programları, dini özel ay ve günlerin yıl içindeki değişkenliği iç mekân ısıl konforunu ve enerji tüketimini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu parametreler gelecek çalışmalarda daha kapsamlı olarak ele alınmalıdır. Bu çalışmada örnek olarak Türkiye'deki tek bir iklim bölgesi (ılıman nemli iklim bölgesi) ele alınmıştır. Ancak sonuçların ve yöntemin farklı iklim bölgelerinde analizler yapılarak desteklenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

[1] R. J. De Dear and G. S. Brager, "Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 549–561, 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00005-1.

[2] R. Yao, B. Li, and J. Liu, "A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2089–2096, 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.02.014.

[3] M. H. H. Abdelhafez *et al.*, "Integrating solar photovoltaics in residential buildings: Towards zero energy buildings in hail city, ksa," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/su13041845.

[4] IEA and UNEP, "Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction," Kenya, 2019.

[5] Y. Ding, H. Brattebø, and N. Nord, "A systematic approach for data analysis and prediction methods for annual energy profiles: An example for school buildings in Norway," *Energy Build.*, vol. 247, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111160.

[6] B. Dean, J. Dulac, K. Petrichenko, and P. Graham, "Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector," 2017.

[7] F. F. Al-ajmi, "Thermal comfort in air-conditioned mosques in the dry desert climate," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 11, pp. 2407–2413, 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.05.003.

[8] M. S. Al-Homoud, "Envelope thermal design optimization of buildings with intermittent occupancy," *J. Build. Phys.*, vol. 33, no. 1, pp. 65–82, 2009, doi: 10.1177/1744259109102799.

[9] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, "Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate-humid climate," *Energy Build.*, vol. 195, pp. 195–204, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.044.

[10] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, "Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate," *J. Build. Eng.*, vol. 30, 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101246.

[11] A. Hussin, E. Salleh, H. Y. Chan, and S. Mat, "The reliability of Predicted Mean Vote model predictions in an air-conditioned mosque during daily prayer times in Malaysia," *Archit. Sci. Rev.*, vol. 58, no. 1, pp. 67–76, 2015, doi: 10.1080/00038628.2014.976538.

[12] S. A. R. Saeed, “Thermal comfort requirements in hot dry regions with special reference to Riyadh Part 2: For Friday prayer,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 17, no. 1, pp. 17–21, Jan. 1996, doi: 10.1080/01430750.1996.9675211.

[13] A. B. Atmaca, G. Z. Gedik, A. Wagner, and M. Schweiker, “Comparison of different thermal comfort models: mosque and church cases,” *Archit. Sci. Rev.*, 2023, doi: 10.1080/00038628.2023.2296489.

[14] K. S. M. Bughrara, Z. D. Arsan, and G. G. Akkurt, “Applying underfloor heating system for improvement of thermal comfort in historic mosques: The case study of Salepçioğlu Mosque, Izmir, Turkey,” *Energy Procedia*, vol. 133, pp. 290–299, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.390.

[15] S. Ibrahim, A. Baharun, M. Nawi, and E. Junaidi, “Assessment of thermal comfort in the mosque in Sarawak, Malaysia,” *Int. J. Energy Environ.*, vol. 5, no. 3, pp. 327–334, 2014.

[16] M. Aftab, C. Chen, C. K. Chau, and T. Rahwan, “Automatic HVAC control with real-time occupancy recognition and simulation-guided model predictive control in low-cost embedded system,” *Energy Build.*, vol. 154, pp. 141–156, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.07.077.

[17] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, “Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate-humid climate,” *Energy Build.*, vol. 195, pp. 195–204, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.044.

[18] A. Taufan, S. A. Zaki, N. W. Tuck, H. B. Rijal, W. Khalid, and N. Othman, “Thermal comfort and ventilation performance in an air-conditioned mosque in tropical climates of Malaysia,” *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 199–240, 2025, doi: 10.1080/17512549.2025.2451347.

[19] I. M. Budaiwi, A. A. Abdou, and M. S. Al-Homoud, “Envelope retrofit and air-conditioning operational strategies for reduced energy consumption in mosques in hot climates,” *Build. Simul.*, vol. 6, no. 1, pp. 33–50, 2013, doi: 10.1007/s12273-012-0092-5.

[20] E. Mushtaha and O. Helmy, “Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: a case study in Sharjah city,” *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 926–944, 2017, doi: 10.1080/14786451.2015.1127234.

[21] A. Taufan, S. A. Zaki, N. W. Tuck, M. K. Singh, and H. B. Rijal, “Energy-efficient retrofitting strategies in mosque buildings: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 183, no. May, p. 113479, 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113479.

[22] ISO 7730, “ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005,” 2005.

[23] M. Taleghani, M. Tenpierik, S. Kurvers, and A. Van Den Dobbelsteen, “A review into thermal comfort in buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26. pp. 201–215, 2013, doi:

10.1016/j.rser.2013.05.050.

[24] J. Van Hoof, “Forty years of Fanger’s model of thermal comfort: Comfort for all?,” *Indoor Air*, vol. 18, no. 3. pp. 182–201, 2008, doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00516.x.

[25] K. E. Charles, “Fanger’s Thermal Comfort and Draught Models Fanger ’ s Thermal Comfort and Draught Models IRC Research Report RR-162,” 2003. [Online]. Available: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/rr/rr162/rr162.pdf.

[26] ASHRAE 55, “Thermal environmental conditions for human occupancy,” *ANSI/ASHRAE Standard - 55*, 2017. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy (accessed Jun. 03, 2021).

[27] P. O. Fanger, *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*, vol. 3, no. 3. Copenhagen, Denmark: Copenhagen: Danish Technical Press., 1972.

[28] F. Nicol, “Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics,” *Energy Build.*, vol. 36, no. 7, pp. 628–637, 2004, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.01.016.

[29] R. Yao, J. Liu, and B. Li, “Occupants’ adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 3, pp. 1015–1022, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.09.028.

[30] S. ter Mors, J. L. M. Hensen, M. G. L. C. Loomans, and A. C. Boerstra, “Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts,” *Build. Environ.*, vol. 46, no. 12, pp. 2454–2461, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.05.025.

[31] L. Dias Pereira, D. Raimondo, S. P. Corgnati, and M. Gameiro da Silva, “Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results,” *Build. Environ.*, vol. 81, pp. 69–80, 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.06.008.

[32] X. L. Ji, W. Z. Lou, Z. Z. Dai, B. G. Wang, and S. Y. Liu, “Predicting thermal comfort in Shanghai’s non-air-conditioned buildings,” *Build. Res. Inf.*, vol. 34, no. 5, pp. 507–514, 2006, doi: 10.1080/09613210600722511.

[33] G. Calis and M. Kuru, “Assessing user thermal sensation in the Aegean region against standards,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 29, pp. 77–85, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2016.11.013.

[34] J. Kim and R. de Dear, “Thermal comfort expectations and adaptive behavioural characteristics of primary and secondary school students,” *Build. Environ.*, vol. 127, pp. 13–22, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.10.031.

[35] S. Del Ferraro, S. Iavicoli, S. Russo, and V. Molinaro, “A field study on thermal comfort in an Italian hospital considering differences in gender and age,” *Appl. Ergon.*, vol. 50, pp. 177–184, 2015, doi:

10.1016/j.apergo.2015.03.014.

[36] F. Al-Atrash, R. T. Hellwig, and A. Wagner, “The degree of adaptive thermal comfort in office workers in a hot-summer Mediterranean climate,” *Energy Build.*, vol. 223, p. 110147, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110147.

[37] C. M. Muñoz-González, A. L. León-Rodríguez, and J. Navarro-Casas, “Air conditioning and passive environmental techniques in historic churches in Mediterranean climate. A proposed method to assess damage risk and thermal comfort pre-intervention, simulation-based,” *Energy Build.*, vol. 130, pp. 567–577, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.078.

[38] X. Huang, X. Ma, and Q. Zhang, “Effect of building interface form on thermal comfort in gymnasiums in hot and humid climates,” *Front. Archit. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 32–43, 2019, doi: 10.1016/j.foar.2018.11.002.

[39] R. F. Rupp, N. G. Vásquez, and R. Lamberts, “A review of human thermal comfort in the built environment,” *Energy Build.*, vol. 105, pp. 178–205, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.07.047.

[40] R. de Dear, J. Xiong, J. Kim, and B. Cao, “A review of adaptive thermal comfort research since 1998,” *Energy Build.*, vol. 214, May 2020, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.109893.

[41] L. Arakawa Martins, V. Soebarto, and T. Williamson, “A systematic review of personal thermal comfort models,” *Build. Environ.*, vol. 207, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108502.

[42] S. A. R. Saeed, “Thermal comfort requirements in hot dry regions with special reference to Riyadh Part 2: For Friday prayer,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 17, no. 1, pp. 17–21, 1996, doi: 10.1080/01430750.1996.9675211.

[43] F. G. Noman, N. Kamsah, and H. M. Kamar, “Improvement of thermal comfort inside a mosque building,” *J. Teknol.*, vol. 78, no. 8–4, pp. 9–18, 2016, doi: 10.11113/jt.v78.9579.

[44] A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, M. Civan, and H. Karabay, “Cooling operation strategies in a typical neighborhood mosque: A Case study on electricity consumption, CO2 emissions, and thermal comfort,” *Energy Build.*, vol. 310, no. December 2023, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114073.

[45] H. Al Rasbi and M. Gadi, “Energy modelling of traditional and contemporary mosque buildings in oman,” *Buildings*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/buildings11070314.

[46] N. A. Azmi, M. Arıcı, and A. Baharun, “A review on the factors influencing energy efficiency of mosque buildings,” *J. Clean. Prod.*, vol. 292, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126010.

[47] X. Luo, D. Xu, Y. Bing, Y. He, and Q. Chen, “Thermal Performance and Building Energy Simulation of Precast Insulation Walls in Two Climate Zones,” *Buildings*, vol. 14, no. 9, 2024, doi: 10.3390/buildings14092612.

[48] P. Ole Fanger and J. Toftum, “Extension of the PMV model to non-air-

conditioned buildings in warm climates," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 533–536, 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00003-8.

[49] M. Schweiker and A. Wagner, "A framework for an adaptive thermal heat balance model (ATHB)," *Build. Environ.*, vol. 94, no. P1, pp. 252–262, 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.08.018.

[50] M. S. Al-Homoud, A. A. Abdou, and I. M. Budaiwi, "Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates," *Energy Build.*, vol. 41, no. 6, pp. 607–614, 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.12.005.

[51] A. B. Atmaca, G. Zorer Gedik, and A. Wagner, "Determination of optimum envelope of religious buildings in terms of thermal comfort and energy consumption: Mosque cases," *Energies*, vol. 14, no. 20, 2021, doi: 10.3390/en14206597.

[52] R. C. Vella, F. J. R. Martinez, C. Yousif, and D. Gatt, "A study of thermal comfort in naturally ventilated churches in a Mediterranean climate," *Energy Build.*, vol. 213, p. 109843, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109843.

[53] T. J. Terrill and B. P. Rasmussen, "An evaluation of HVAC energy usage and occupant comfort in religious facilities," *Energy Build.*, vol. 128, pp. 224–235, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.078.

[54] S. Tong, J. Wen, N. H. Wong, and E. Tan, "Impact of façade design on indoor air temperatures and cooling loads in residential buildings in the tropical climate," *Energy Build.*, vol. 243, p. 110972, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110972.

[55] I. Budaiwi and A. Abdou, "HVAC system operational strategies for reduced energy consumption in buildings with intermittent occupancy: The case of mosques," *Energy Convers. Manag.*, vol. 73, pp. 37–50, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.04.008.

[56] N. H. A. Majid, F. H. Abdullah, and Z. Denan, "Determining model configuration for thermal simulation of urban mosque façade design," *Plan. Malaysia*, vol. 16, no. 1, pp. 348–359, 2018, doi: 10.21837/pmjournal.v16.i5.437.

[57] A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, M. Civan, and H. Karabay, "Energy consumption, thermal comfort, and indoor air quality in mosques: Impact of Covid-19 measures," *J. Clean. Prod.*, vol. 354, no. December 2021, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131726.

[58] S. Samiuddin and I. M. Budaiwi, "Assessment of thermal comfort in high-occupancy spaces with relevance to air distribution schemes: A case study of mosques," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 39, no. 5, pp. 572–589, 2018, doi: 10.1177/0143624418764769.

[59] A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, M. Civan, and H. Karabay, "A review on thermal comfort, indoor air quality and energy consumption in temples," *J. Build. Eng.*, vol. 35, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2020.102013.

[60] A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, and H. Karabay, "Experimental

investigation of thermal comfort and CO2concentration in mosques: A case study in warm temperate climate of Yalova, Turkey," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 52, no. August 2019, p. 101809, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101809.

[61] A. Ahriz, A. Mesloub, K. Elkhayat, M. A. Alghaseb, M. H. Abdelhafez, and A. Ghosh, "Development of a mosque design for a hot, dry climate based on a holistic bioclimatic vision," *Sustain.*, vol. 13, no. 11, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/su13116254.

[62] I. Reda, R. N. AbdelMessih, M. Steit, and E. M. Mina, "Thermal performance of domed roof in air-conditioned spaces," *Energy Built Environ.*, no. October, 2022, doi: 10.1016/j.enbenv.2022.10.003.

[63] M. Marzouk, M. El-Maraghy, and M. Metawie, "Assessing retrofit strategies for mosque buildings using TOPSIS," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1397–1414, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2022.12.073.

[64] Y. Diler, C. Turhan, Z. Durmuş Arsan, and G. Gökçen Akkurt, "Thermal comfort analysis of historical mosques. Case study: The Ulu mosque, Manisa, Turkey," *Energy Build.*, vol. 252, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111441.

[65] A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, M. Civan, and H. Karabay, "Developing a strategy to reduce energy consumption and CO2 emissions from underfloor heating systems in mosques: A case study of a typical neighbourhood mosque," *Energy Build.*, vol. 287, p. 112984, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112984.

[66] "Republic of Türkiye, Presidency of Religious Affairs." https://stratejigelistirme.diyanet.gov.tr/sayfa/57/istatistikler (accessed Mar. 20, 2023).

[67] L. Zeren, "Physical Environment Control Lecture Notes," Istanbul, 1990.

[68] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, "Investigation of Passive Design Criteria in terms of Thermal Comfort and Energy Consumption for Mosques: Istanbul Case," in *6th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism*, 2023, p. 26, doi: 978-605-71006-7-2.

[69] L. Zeren, *Physical Environment Control, Lecture Notes*. Istanbul: Istanbul Technical University, 1990.

[70] "Meteoroloji Genel Müdürlüğü." https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=İSTANBUL/FLORYA (accessed Jun. 26, 2023).

[71] T. S. Enstitüsü, "Türk Standardı (TS) 825-2024," 2024.

[72] G. Zorer Gedik, "Thermal Design Relations in Buildings Lecture Notes," Istanbul, 1992.

[73] S. F. Göncüoğlu and Z. Kumbasar, *Mosques from Tradition to the Future*. Istanbul: The Istanbul Metropolitan Municipality, 2006.

[74] N. Duysak, "The architecture of the 20th century, mosques in Turkey and traditional mosques throughout the Islamic world," Istanbul Technial

University, 2000.

[75] O. Aslanapa, *Türk Cumhuriyetleri Mimarlık Abideleri*. Ankara / Turkey: Türksoy Yayınları, 1996.

[76] F. Z. Sarıhan, "An approach related shape-form in perception of mosque image in Turkish architecture," Fatih Sultan Mehmet Vakıf University, 2015.

[77] M. Akar, "A research on contemporary mosque architecture in Turkey: Istanbul Esenler district sample," Yildiz Technical University, 2019.

[78] E. Karakoca, "Examination of the site organization of contemporary mosques in Istanbul," Maltepe University, 2017.

[79] O. Aslanapa, *Anadolu'da İlk Türk Mimarisi*, 2nd ed. Ankara / Turkey: Atatürk Kültür Merkezi Başkanlığı, 2007.

[80] O. Aslanapa, *Osmanlı Devri Mimarisi*. İstanbul: İnkılap Kitabevi, 1986.

[81] D. Kuban, *Interior Space Establishment in Ottoman Religious Architecture*, 1st ed. Istanbul: Istanbul Technical University, 1958.

[82] M. Oral, "In the perspective of republican period the problem of identity and aesthetics quality on the recent mosque architecture -The case of Konya-," Selcuk University, 2006.

[83] N. Akbulut, "Innovative approaches in the architectural design of contemporary mosques in Turkey," Istanbul Aydin University, 2017.

[84] A. Onay, "A Study on the Grouping and Classification of Mosques in Turkey and Determining the Needs of Officier," *J. Sak. Univ. Fac. Theol.*, vol. 16, pp. 77–121, 2007, Accessed: Feb. 07, 2023. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/191948.

[85] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları," 2013.

[86] EN 17037, "BS EN 17037 Daylight in buildings," *Eur. Stand.*, 2018.

[87] A. U. Göksu, "Evaluation of the effect of energy performance of PV systems' as shading device of office buildings' in the different climate regions," Yildiz Technical University, 2016.

[88] "SketchUp 3D Modeling Software." https://www.sketchup.com/plans-and-pricing/sketchup-free (accessed Feb. 06, 2023).

[89] "OpenStudio." http://openstudio.net/ (accessed Feb. 06, 2023).

[90] "EnergyPlus." https://energyplus.net/ (accessed Feb. 06, 2023).

[91] "DView · NREL/wex Wiki · GitHub." https://github.com/NREL/wex/wiki/DView (accessed Feb. 06, 2023).

[92] I. M. Budaiwi, "Envelope thermal design for energy savings in mosques in hot-humid climate," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 4, no. 1, pp. 49–61, 2011, doi: 10.1080/19401491003746639.

[93] M. Schweiker and A. Wagner, "Exploring potentials and limitations of the adaptive thermal heat balance framework," *Proc. - 9th Int. Wind. Conf. 2016*

Mak. Comf. Relev., no. April, pp. 108–121, 2016.

[94] M. Schweiker and A. Wagner, "Influences on the predictive performance of thermal sensation indices," *Build. Res. Inf.*, vol. 45, no. 7, pp. 745–758, 2017, doi: 10.1080/09613218.2017.1256673.

[95] "Karlsruhe: Statistik." https://www.karlsruhe.de/b4/stadtentwicklung/statistik (accessed Oct. 20, 2021).

[96] "Models and Equations for Human Comfort Research [R package comf version 0.1.10]," Feb. 2021, Accessed: Oct. 15, 2021. [Online]. Available: https://cran.r-project.org/package=comf.

[97] "IBM SPSS Statistics," 2022. https://www.ibm.com/products/spss-statistics (accessed Jan. 17, 2022).

[98] "RStudio | Open source & professional software for data science teams - RStudio." https://www.rstudio.com/ (accessed Oct. 24, 2022).

[99] P. O. Fanger, *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*, vol. 3, no. 3. Denmark. Copenhagen: Danish Technical Press, 1972.

[100] S. C. Camacho-Montano, M. Cook, and A. Wagner, "Avoiding overheating in existing school buildings through optimized passive measures," *Build. Res. Inf.*, vol. 48, no. 4, pp. 349–363, 2020, doi: 10.1080/09613218.2019.1663137.

[101] "Karlsruhe Climate and Temperature." https://www.karlsruhe.de/b4/stadtentwicklung/statistik.de (accessed Nov. 25, 2022).

[102] "Karlsruhe-Neuapostolische Church." https://www.nak-karlsruhe.de/ (accessed Oct. 14, 2021).

[103] "Karlsruhe-Christus Church." https://www.christuskirche-karlsruhe.de/ (accessed Oct. 14, 2021).

[104] "Karlsruhe-Luther Church." https://www.luthergemeinde.info/startseite/ (accessed Oct. 14, 2021).

[105] "Karlsruhe Institute of Technology- FBTA - LOBSTER Laboratory." https://fbta.ieb.kit.edu/508.php (accessed Oct. 15, 2021).

[106] ISO 7726, "ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities," *ISO Stand.*, vol. 1998, no. 1, pp. 1–56, 1998.

[107] R. of T. M. of F. and W. A. General Directorate of Meteorology, "Türkiye Climate According to Köppen Climate Classification."

[108] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, "Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate," *J. Build. Eng.*, vol. 30, no. February, p. 101246, 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101246.

[109] ASHRAE, “Measurement of Energy, Demand, and Water Savings - ASHRAE Guidelines 14-2014,” *ASHRAE Guidel. 14-2014*, vol. 4, pp. 1–150, 2014, [Online]. Available: www.ashrae.org.

[110] EnegyPlus, “EnegyPlus Weather Data File,” 2021. https://energyplus.net/weather-search/istanbul.

[111] A. B. Atmaca and G. Zorer Gedik, “Dini Yapilarin Isil Konforunu İncelenmesi : Marmara İlahiyat Cami Ve Hz. Ali Cami Örneklemeleri,” 2017.

[112] T. D. Vakfı, “Örnek Mimari Cami Projeleri,” 2025. https://tdv.org/tr-TR/medya-odasi/ornek-cami-projeleri/.

A
SENARYOLARIN ENERJİ TÜKETİM DEĞERLERİ

Tablo A.1 Oluşturulan tüm senaryoların birim alan enerji tüketimi miktarı ve referans senaryoya göre enerji tüketim oranı

Değişken üst başlığı	Değişken kısaltması	Senaryo açıklaması ve senaryolardaki değişkenler	Sıra no	Birim alan enerji tüketim kWh/m^2	Enerji tasarruf oranı (%)
Yapı kabuğu senaryoları	A	Referans senaryo (büyük ölçekli, tek kubbeli, kare planlı, FCS, %50 Saydamlık Oranı (S.O.), gölgelendirme elemansız, TS 825'e göre U değerli)	1	217,4	0,0
	B	Referans senaryo-saydam alan U değeri	2	187,7	13,7
	C	Referans senaryo-dolu alanlar U değeri	3	181,2	16,7
	D	Referans senaryo-saydam ve dolu alanlar U değeri	4	162,2	25,4
	E	Referans senaryo-saydamlık oranı (tüm cepheler aynı)	5	213,5	1,8
	F	Referans senaryo-saydamlık oranı(tüm cepheler aynı)	6	246,1	-13,2
	G	Referans senaryo-saydamlık oranı(cepheler farklı)	7	209,2	3,8
	H	Referans senaryo-saydamlık oranı(cepheler farklı)	8	222,2	-2,2
	I	Referans senaryo-Yatay-Düşey (Y-D) gölgelendirme elemanı	9	222,8	-2,5
	J	Referans senaryo-saydamlık oranı/gölgelendirme elemanı	10	251,5	-15,7
	K	Referans senaryo-saydamlık oranı/saydam alan U değeri/Y-D gölgelendirme elemanı	11	206,2	5,2
	L	Referans senaryo-saydamlık oranı/örüntü gölgelendirme elemanı	12	253,7	-16,7
	M	Referans senaryo-saydamlık oranı/saydam alan U değeri/örüntü gölgelendirme elemanı	13	214,4	1,4
	Optimum Kabuk (O.K.)	Referans senaryo-saydam ve dolu alanlar U değeri/ Y-D gölgelendirme elemanı	14	146,4	32,7
	Aralıklı	Referans senaryo-O.K. / aralıklı kullanım programı	15	159,6	26,6

HVAC sistem programı	Sürekli	Referans senaryo-O.K. / sürekli kullanım (S.K.) programı	16	146,7	32,6
Hava değişim oranı (ach)	0.2 ach	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 0.2 ach	17	144,1	33,7
	0.5 ach	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 0.5 ach	18	146,7	32,6
	1 ach	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach	19	150,1	31,0
	1.5 ach	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.5 ach	20	152,3	29,9
	2 ach	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 2.0 ach	21	155,4	28,6
Üst Örtü Değişken-Fan coil sistem-FCS	Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach	22	146,7	32,6
	Çok Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / çok kubbeli	23	182,1	16,2
	Topuz Çatı	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / topuz çatılı	24	157,4	27,6
	Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / düz çatılı	25	163,0	25,0
Üst Örtü Değişken-Radyatörlü sistem-RS	Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / R.S.	26	129,2	40,6
	Çok Kubbe	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/çok kubbeli/R.S.	27	138,0	36,5
	Topuz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/topuz çatılı/R.S.	28	131,2	39,7
	Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / düz çatılı/R.S.	29	128,5	40,9
Üst Örtü Değişken-yerden ısı pompalı sistem-GSHP	Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / GSHP	30	82,9	61,9
	Çok Kubbe	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/çok kubbeli/GSHP	31	84,8	61,0
	Topuz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/ topuz çatılı/GSHP	32	85,4	60,7
	Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/düz çatılı/GSHP	33	82,3	62,1
Üst Örtü Değişken-klimalı sistem (ACS)	Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / ACS	34	148,0	31,9
	Çok Kubbe	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/çok kubbeli/ACS	35	158,9	26,9
	Topuz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/topuz çatılı/ACS	36	147,9	32,0
	Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / düz çatılı/ACS	37	146,7	32,5
Üst Örtü Değişken-yerden ısıtma (FS)	Tek Kubbe	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / R.S.	38	103,0	52,6
	Çok Kubbe	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/çok kubbeli/FS	39	112,5	48,3
	Topuz Çatı	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/topuz çatılı/FS	40	100,0	54,0
	Düz Çatı	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / düz çatılı/FS	41	103,2	52,5
Ölçek türü değişkeni _FCS	Küçük Ölçek	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / Küçük ölçek	42	153,5	29,4
	Orta Ölçek	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach / Orta ölçek	43	153,6	29,4
	Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./ S.K./ 1.0 ach	44	146,7	32,6
	Küçük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Küçük ölçek/RS	45	126,5	41,8

Ölçek türü değişkeni _RS	Orta Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Orta ölçek/RS	46	124,6	42,7
	Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/RS	47	129,2	40,6
Ölçek türü değişkeni _GSHP	Küçük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Küçük ölçek/GSHP	48	93,4	57,1
	Orta Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Orta ölçek/GSHP	49	90,7	58,3
	Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/GSHP	50	82,9	61,9
Ölçek türü değişkeni _ACS	Küçük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Küçük ölçek/ACS	51	142,4	34,5
	Orta Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Orta ölçek/ACS	52	140,6	35,3
	Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 achACS	53	148,0	31,9
Ölçek türü değişkeni _FS	Küçük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Küçük ölçek/FS	54	100,2	53,9
	Orta Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/Orta ölçek/FS	55	99,9	54,1
	Büyük Ölçek	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/FS	56	103,0	52,6
Plan türü değişkeni _FCS	Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach	57	146,7	32,6
	Dikdörtgen	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/dikdörgen plan	58	161,5	25,7
	Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan	59	124,7	42,6
Plan türü değişkeni _RS	Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/RS	60	129,2	40,6
	Dikdörtgen	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/dikdörgen plan/RS	61	136,9	37,0
	Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan/RS	62	112,5	48,2
Plan türü değişkeni _GSHP	Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/RS	63	82,9	61,9
	Dikdörtgen	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/dikdörgen plan/GSHP	64	88,7	59,2
	Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan/GSHP	65	83,4	61,6
Plan türü değişkeni _ACS	Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/ACS	66	148,0	31,9
	Dikdörtgen	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/dikdörgen plan/ACS	67	153,7	29,3
	Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan/ACS	68	122,2	43,8
Plan türü değişkeni _FS	Kare	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/FS	69	103,0	52,6
	Dikdörtgen	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/dikdörgen plan/FS	70	105,5	51,5
	Daire	Referans senaryo-O.K./S.K./1.0 ach/daire plan/FS	71	82,5	62,1
Duvar cm-kWh/m^2	0 cm-1.69	Referans senaryo/dolu alanlar yalıtımsız	72	434,7	
	1 cm/1.13	Referans senaryo/duvar alanlar 1 cm yalıtımlı	73	412,1	
	2 cm -0.85	Referans senaryo/duvaralanlar 2 cm yalıtımlı	74	399,3	
	3 cm-0.68	Referans senaryo/duvar alanlar 3 cm yalıtımlı	75	392,6	
	4 cm-0.57	Referans senaryo/duvar alanlar 4 cm yalıtımlı	76	387,5	

	5 cm-0.49	Referans senaryo/duvar alanlar 5 cm yalıtımlı	77	384,4	
	6 cm-0.42	Referans senaryo/duvar alanlar 6 cm yalıtımlı	78	382,5	
	7 cm-0.38	Referans senaryo/duvaralanlar 7 cm yalıtımlı	79	380,7	
	8 cm-0.34	Referans senaryo/duvar alanlar 8 cm yalıtımlı	80	379,2	
	9 cm-0.31	Referans senaryo/duvar alanlar 9 cm yalıtımlı	81	378,0	
	10 cm-0.28	Referans senaryo/duvar alanlar 10 cm yalıtımlı	82	376,5	
	11 cm-0.26	Referans senaryo/duvar alanlar 11 cm yalıtımlı	83	375,7	
	12 cm-0.24	Referans senaryo/duvar alanlar 12 cm yalıtımlı	84	374,9	
	13 cm - 0.23	Referans senaryo/duvar alanlar 13 cm yalıtımlı	85	374,2	
	14 cm-0.21	Referans senaryo/duvar alanlar 14 cm yalıtımlı	86	373,5	
	15 cm-0.20	Referans senaryo/duvar alanlar 15 cm yalıtımlı	87	373,1	
	16 cm-0.19	Referans senaryo/duvar alanlar 16 cm yalıtımlı	88	372,7	
	17 cm-0.18	Referans senaryo/duvar alanlar 17 cm yalıtımlı	89	372,3	
	18 cm-0.17	Referans senaryo/duvar alanlar 18 cm yalıtımlı	90	371,9	
	19 cm-0.16	Referans senaryo/duvar alanlar 19 cm yalıtımlı	91	371,6	
	20 cm-0.15	Referans senaryo/duvar alanlar 20 cm yalıtımlı	92	371,3	
Çatı cm-kWh/m^2	0 cm-2.49	Referans senaryo/dolu alanlar yalıtımsız	93	434,7	
	1 cm-1.44	Referans senaryo/çatı alanlar 1 cm yalıtımlı	94	361,9	
	2 cm-1.01	Referans senaryo/çatı alanlar 2 cm yalıtımlı	95	330,9	
	3 cm-0.78	Referans senaryo/çatı alanlar 3 cm yalıtımlı	96	313,2	
	4 cm-0.63	Referans senaryo/çatı alanlar 4 cm yalıtımlı	97	302,4	
	5 cm-0.53	Referans senaryo/çatı alanlar 5 cm yalıtımlı	98	294,7	
	6 cm-0.46	Referans senaryo/çatı alanlar 6 cm yalıtımlı	99	288,1	
	7 cm-0.41	Referans senaryo/çatı alanlar 7 cm yalıtımlı	100	283,9	
	8 cm-0.36	Referans senaryo/çatı alanlar 8 cm yalıtımlı	101	280,4	
	9 cm-0.33	Referans senaryo/çatı alanlar 9 cm yalıtımlı	102	277,7	
	10 cm-0.30	Referans senaryo/çatı alanlar 10 cm yalıtımlı	103	276,5	
	11 cm-0.28	Referans senaryo/çatı alanlar 11 cm yalıtımlı	104	273,5	
	12 cm-0.25	Referans senaryo/çatı alanlar 12 cm yalıtımlı	105	271,8	
	13 cm-0.24	Referans senaryo/çatı alanlar 13 cm yalıtımlı	106	270,3	
	14 cm-0.22	Referans senaryo/çatı alanlar 14 cm yalıtımlı	107	269,0	
	15 cm-0.21	Referans senaryo/çatı alanlar 15 cm yalıtımlı	108	267,9	
	16 cm-0.20	Referans senaryo/çatı alanlar 16 cm yalıtımlı	109	266,8	

	17 cm-0.19	Referans senaryo/çatı alanlar 18 cm yalıtımlı	110	265,9	
	18 cm-0.18	Referans senaryo/çatı alanlar 18 cm yalıtımlı	111	266,2	
	19 cm-0.17	Referans senaryo/çatı alanlar 19 cm yalıtımlı	112	265,5	
	20 cm-0.16	Referans senaryo/çatı alanlar 20 cm yalıtımlı	113	265,0	
Döşeme cm-kWh/m^2	0 cm-0.83	Referans senaryo/dolu alanlar yalıtımsız	114	434,7	
	1 cm-0.67	Referans senaryo/döşeme alanlar 1 cm yalıtımlı	115	433,3	
	2 cm-0.56	Referans senaryo/döşeme alanlar 2 cm yalıtımlı	116	432,4	
	3 cm-0.48	Referans senaryo/döşeme alanlar 3 cm yalıtımlı	117	432,1	
	4 cm-0.42	Referans senaryo/döşeme alanlar 4 cm yalıtımlı	118	431,7	
	5 cm-0.37	Referans senaryo/döşeme alanlar 5 cm yalıtımlı	119	431,4	
	6 cm-0.34	Referans senaryo/döşeme alanlar 6 cm yalıtımlı	120	431,3	
	7 cm-0.31	Referans senaryo/döşeme alanlar 7 cm yalıtımlı	121	430,7	
	8 cm-0.28	Referans senaryo/döşeme alanlar 8 cm yalıtımlı	122	430,9	
	9 cm-0.26	Referans senaryo/döşeme alanlar 9 cm yalıtımlı	123	430,7	
	10 cm-0.24	Referans senaryo/döşeme alanlar 10 cm yalıtımlı	124	430,6	
	11 cm-0.23	Referans senaryo/döşeme alanlar 11 cm yalıtımlı	125	432,5	
	12 cm-0.21	Referans senaryo/döşeme alanlar 12 cm yalıtımlı	126	432,3	
	13 cm-0.20	Referans senaryo/döşeme alanlar 13 cm yalıtımlı	127	432,2	
	14 cm-0.19	Referans senaryo/döşeme alanlar 14 cm yalıtımlı	128	432,2	
	15 cm-0.18	Referans senaryo/döşeme alanlar 15 cm yalıtımlı	129	429,4	
	16 cm-0.17	Referans senaryo/döşeme alanlar 16 cm yalıtımlı	130	429,3	
	17 cm-0.16	Referans senaryo/döşeme alanlar 17 cm yalıtımlı	131	429,3	
	18 cm-0.15	Referans senaryo/döşeme alanlar 18 cm yalıtımlı	132	429,2	
	19 cm-0.15	Referans senaryo/döşeme alanlar 19 cm yalıtımlı	133	429,7	

B
ISIL KONFOR ANKET SORULARI

CAMİLERİN ISISAL KONFOR ANKET ÇALIŞMASI							
Değerli Katılımcı, Bu çalışma Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi ortaklığında Karlsruhe'deki camilerin ısıl konforunun standartlara göre belirlenmesi için hazırlanmıştır.	Yaş:			Kilo:			
	Çalışma Durumunuz		Evet ☐		Hayır ☐		
	Cami içi Konumunuz:	Kapı Önü ☐		Pencere Kenarı ☐			
		Orta Alan ☐		Duvar Önü ☐			
1. Bugün cami içerisinde üzerinizde bulunan kıyafetleri işaretleyiniz.							
Çorap ☐	Kapri ☐	Pantolon ☐	Gömlek (uzun kollu) ☐	Tişört ☐	Yelek ☐	Mont (yazlık) ☐	
2. Cami içerisinde ibadet süresince ısıl konfor açısından hissiniz nasıldır?							
Çok Soğuk ☐	Soğuk ☐	Serin ☐	Normal ☐	Ilıman ☐	Sıcak ☐	Çok Sıcak ☐	
3. İbadet süresince cereyan hissi veya hava akımı hissettiniz mi?							
Evet ☐			Hayır ☐				
4. İbadet başlangıcı ile bitişi arasında cami iç hava sıcaklığında fark hissettiniz mi?							
Evet ☐			Hayır ☐				
5. Caminin iç ortam nemi sizce nasıldır?							
Kuru ☐		Normal ☐		Nemli ☐			
6. Pandemi öncesine göre camideki kişi sayısının azalması ısıl konfor açısından baktığınızda ibadet veriminizi artırdı mı?							
Evet ☐			Hayır ☐				
Ankete katılımınız için teşekkür ederiz…							

Lütfen anketi ibadet bitiminde doldurunuz.

Die deutsche Version befindet sich am Ende der.

THERMISCHER KOMFORT – UMFRAGE IN MOSCHEEN							
Sehr geehrte Teilnehmerin, diese Studie wird in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie und der Technischen Universität Yıldız durchgeführt, um den thermischen Komfort in Karlsruher Moscheen zu untersuchen.	Alter:			Gewicht:			
	Position Ihres Sitzplatzes in der Moschee:	vor der Tür ☐		am Fenster ☐			
		im Mittelfeld ☐		vor der Mauer ☐			
1. Bitte markieren Sie die Kleidung, die Sie heute in der Moschee tragen.							
Socken ☐	Caprihose ☐	Hose ☐	Hemd ☐	T-Shirt ☐	Anzugweste ☐	Jacke ☐	
2. Wie empfinden Sie die Temperatur während des Gottesdienstes in der Moschee?							
kalt ☐	kühl ☐	etwas kühl ☐	Normal ☐	etwas warm ☐	Warm ☐	heiß ☐	
3. Haben Sie während der Veranstaltung einen Luftzug gespürt?							
Ja ☐			Nein ☐				
4. Haben Sie zwischen Beginn und Ende des Gottesdienstes einen Unterschied in der Raumtemperatur der Moschee gespürt?							
Ja ☐			Nein ☐				
5. Wie hoch ist Ihrer Meinung nach die Luftfeuchtigkeit in der Moschee?							
Trocken ☐		Normal ☐		Feucht ☐			
6. Wenn Sie sich die thermische Behaglichkeit als Folge des Rückgangs der Zahl der Menschen in der Moschee im Vergleich zur Zeit vor der Pandemie ansehen, hat sich Ihre Gebetseffizienz erhöht?							
Ja ☐			Nein ☐				
Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Umfrage…							

Bitte füllen Sie den Fragebogen am Ende des Gottesdienstes aus.

Türkçe versiyonu sayfanın arkasındadır.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. A.B. Atmaca, G. Zorer Gedik, A. Wagner ve M. Schweiker, "Determination of optimum envelope of religious buildings in terms of thermal comfort and energy consumption: Mosque cases," Energies, cilt.14, sa.20, 2021.
2. A. B. Atmaca ve G. Zorer Gedik, "Development of energy efficient design proposals for air conditioned mosques: Temperate humid climate case," Heliyon, cilt.9, sa.10, 2023.
3. A. B. Atmaca, G. Zorer Gedik ve A. Wagner, "Comparison of different thermal comfort models: mosque and church cases," Architectural Science Review, cilt. 67, sa.5, ss.357-370, 2024.

Konferans Bildirileri

1. A. B. Atmaca ve G. Zorer Gedik, "Camiler için Isıl Konfor ve Enerji Tüketimi açısından Pasif Tasarım Ölçütlerinin İncelenmesi: İstanbul Örneği," 6th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, cilt.6, sa.1, İstanbul, Türkiye, ss.262-272, 2023.
2. A. B. Atmaca ve G. Zorer Gedik, "Camilerin Tasarım Parametrelerinde Isıl Konfor ve Enerji Tüketimi İlişkisi, 4. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, İstanbul, Türkiye, Mayıs 2024.

Burslar

1. Tübitak – 2214 Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Bursu – Mart / Kasım 2021

Ödüller

1. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Teşvik Ödülü – 2022 (Doktora tezinden üretilen Energies dergisinde yayınlanan makale)
2. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Teşvik Ödülü – 2024 (Doktora tezinden üretilen Heliyon dergisinde yayınlanan makale)
3. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Teşvik Ödülü – 2025 (Doktora tezinden üretilen Architectural Science Review dergisinde yayınlanan makale)