Hasta Odalarında Enerji Performansının Optimizasyonu: Mekânsal Düzen ve Yapı Kabuğu Parametrelerinin Simülasyon Tabanlı Analizi

Ayşenur Niğdelioğlu

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Ocak 2026

Optimization of Energy Performance in Patient Rooms: A Simulation-Based Analysis of Spatial Layout and Building Envelope Parameters

Ayşenur Niğdelioğlu

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Architecture

January 2026

Hasta Odalarında Enerji Performansının Optimizasyonu: Mekânsal Düzen ve Yapı Kabuğu Parametrelerinin Simülasyon Tabanlı Analizi

Ayşenur Niğdelioğlu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Bilgisi Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Başak Güçyeter

Ocak 2026

ONAY

Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ayşenur Niğdelioğlu'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Hasta Odalarında Enerji Performansının Optimizasyonu: Mekânsal Düzen ve Yapı Kabuğu Parametrelerinin Simülasyon Tabanlı Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Başak GÜÇYETER
İkinci Danışman: -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Başak GÜÇYETER

Üye: Doç. Dr. Zuhal ÖZÇETİN

Üye: Doç. Dr. Orkun ALPTEKİN

Fen Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulu'nun …… tarih ve …… sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Başak GÜÇYETER danışmanlığında hazırlamış olduğum "Hasta Odalarında Enerji Performansının Optimizasyonu: Mekânsal Düzen ve Yapı Kabuğu Parametrelerinin Simülasyon Tabanlı Analizi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

Ayşenur Niğdelioğlu

06/01/2026

12/02/2026

T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLRERİ ENSTİTÜSÜ
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIMI BEYAN FORMU

Bu tezi/projeyi hazırlarken aşağıdaki Üretken Yapay Zekâ (ÜYZ) araçlarından destek aldığımı beyan ederim:

Aşağıdaki ÜYZ araçlarını kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir)

☐ Claude
☑ ChatGPT
☐ DeepSeek
☑ Gemini
☐ Copilot
☐ Diğer (Belirtiniz): .....

ÜYZ araçlarını tezimin/projemin aşağıdaki aşamalarında ilgili amaçlar için kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

☐ Metin oluşturma
☐ Literatür tarama
☑ Çeviri
☐ Düzenleme/dil kontrolü
☐ Veri işleme ve analizi
☐ Veri görselleştirme
☐ Görüntü üretme
☑ Kaynakça düzenleme
☐ Diğer (Belirtiniz): .....

Bu çalışmada ÜYZ kullanımı ***Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber***'e ve akademik dürüstlük ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup ÜYZ araçlarından alınan destek etik kurallar ve kaynak gösterme esaslarına uygun biçimde belirtilmiştir.

ÜYZ araçlarının sağladığı bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi, yanlış veya eksik bilgi bulunması halinde tüm sorumluluğun tarafıma ait olduğunu; ayrıca çalışmamla ilgili bu beyana aykırı bir durumun herhangi bir zamanda tespit edilmesi durumunda ortaya çıkabilecek akademik ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi beyan ederim.

504020250002
(Öğrenci No)
Ayşenur Niğdelioğlu
(Adı Soyadı)

(İmza)

ÖZET

Küresel ölçekte artan enerji talebi, sürdürülebilirlik gereklilikleri ve karbon yoğun işleyişe bağlı kısıtlar, inşaat sektöründe enerji tüketiminin daha ayrıntılı izlenmesini ve yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, enerji performansının artırılması ve karbon salımlarının azaltılması kritik araştırma alanları hâline gelmiştir. Literatürde binaların enerji tüketim profilleri, istatistiksel modelleme, simülasyonlar, deneysel analizler ve sayısal yöntemler aracılığıyla kapsamlı biçimde incelenmektedir. Ancak, mevcut çalışmaların önemli bir bölümü, operasyonel yapıları görece daha yalın olan konut ve ofis binalarına odaklanmaktadır. Buna karşılık, işlevsel çeşitlilik, yüksek iç yükler ve sürekli değişen operasyonel gereksinimler nedeniyle karmaşık bir karakter sergileyen terminal binaları, hastaneler, oteller ve alış-veriş merkezlerine yönelik araştırmalar sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu literatür boşluğunu ele alarak hastane binalarında enerji tüketiminin simülasyon temelli yöntemlerle değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu kapsamda, mekânsal düzenin ve yapı kabuğu tasarım stratejilerinin bina enerji performansı üzerindeki etkileri aydınlatma, havalandırma, ısıtma ve soğutma yükleri özelinde analiz edilmiştir. Araştırmada, Türkiye'de bulunan temsili bir hastane binası vaka çalışması olarak seçilmiş ve Ankara ili iklim koşulları referans alınmıştır. Bina DesignBuilder yazılımı kullanılarak modellenmiş ve enerji performansı EnergyPlus motoru üzerinden hesaplanmıştır. Elde edilen nicel veri sonuçları, hastane binasında low-e cam ve %40 saydamlık oranına sahip olduğu durumda %29,1 tasarruf sağlandığını; mekânsal düzen açısından ise koridorla tamponlanmış oda kurgusunun, doğrudan cepheye açılan odalara göre enerji performansında yaklaşık %40'a oranında iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Bu araştırma, mekânsal düzen kararlarını simülasyonla elde edilen enerji performansı göstergeleriyle ilişkilendirerek karmaşık bina enerji sistemleri literatürüne katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda hastane binaları için daha sürdürülebilir veri odaklı tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine yönelik analitik bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hastane Binaları, Bina Enerji Performansı, Enerji Tüketimi, Simülasyon Tabanlı Analiz, Mekansal Düzen.

SUMMARY

Rising global energy demand, sustainability requirements, and constraints associated with carbon-intensive operations necessitate more detailed monitoring and management of energy consumption in the construction sector. In this context, enhancing energy performance and reducing carbon emissions have become critical areas of research. In the literature, the energy consumption profiles of buildings are extensively examined through statistical modeling, simulations, experimental analyses, and numerical methods. However, a significant portion of existing studies focuses on residential and office buildings, which possess relatively simpler operational structures. Conversely, research addressing terminal buildings, hospitals, hotels, and shopping centers—which exhibit complex characteristics due to functional diversity, high internal loads, and constantly changing operational requirements—remains limited.

Addressing this gap in the literature, this study focuses on evaluating energy consumption in hospital buildings using simulation-based methods. Within this scope, the effects of spatial layout and building envelope design strategies on building energy performance are analyzed specifically in terms of lighting, ventilation, heating, and cooling loads. A representative hospital building in Turkey was selected as a case study, with the climatic conditions of Ankara serving as the reference. The building was modeled using DesignBuilder software, and energy performance was calculated via the EnergyPlus engine.The obtained quantitative results revealed that using low-e glass with a 40% transparency ratio achieved a 29.1% saving; regarding spatial layout, the corridor-buffered room configuration provided an approximate 40% improvement in energy performance compared to rooms opening directly to the facade. This research contributes to the literature on complex building energy systems by linking spatial layout decisions with simulation-derived energy performance indicators. Furthermore, it offers an analytical framework for developing more sustainable, data-driven design approaches for hospital buildings.

Keywords: Hospital Buildings, Optimization of Energy Consumption, Building Energy Performance, Simulation, Spatial Layout

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimin her aşamasında verdiği bilgi ve görüşlerle ufkumu açan, özveriyle bana yol gösteren, her daim destekleyen çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Başak GÜÇYETER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca yanımda olan ve bana güç veren canım annem Zeynep Niğdelioğlu'na içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vii

SUMMARY..... viii

TEŞEKKÜR..... ix

İÇİNDEKİLER..... x

ŞEKİLLER DİZİNİ xiv

ÇİZELGELER DİZİNİ ……..……..... xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xvii

1. GİRİŞ VE AMAÇ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

2.1. Sistematik Literatür İncelemesi: Kompleks Binalarda Enerji Tüketimi ……..…..… 5

2.2. Küresel Enerji Sorunu ve İnşaat Sektörü..... 6

2.3. Binalarda Enerji Tüketimi ve Performans Yaklaşımları 6

2.3.1. Bina enerji performansı ölçüm yöntemleri..... 7

2.3.2. Bina enerji performansını belirleyen temel parametreler..... 9

2.4. Kompleks Binalarda Enerji Tüketimi..... 10

2.4.1. Kompleks bina tipolojileri ve enerji profilleri..... 11

2.4.2. Hastane binalarının enerji açısından ayırt edici özellikleri..... 12

2.5. Hastane Binalarının Enerji Performansı..... 13

İÇİNDEKİLER

Sayfa

2.5.1. Sistem odaklı çalışmalar..... 15

2.5.2. Yapı kabuğu odaklı çalışmalar..... 16

2.5.3. Mekan düzeni ve enerji tüketimi..... 17

2.6. Hasta Odaları: Mikro Ölçekte Enerji Performansı..... 17

2.6.1. Hasta odalarının mekân düzeni ……..... 18

2.6.2. Hasta odalarında aydınlatma, gün ışığı ve enerji etkileşimi..... 21

2.6. Yapı Kabuğu, Pencere Sistemleri ve Saydamlık Oranı..... 22

2.6.1. Saydamlık oranı (WWR) ve iklim etkileşimi..... 25

2.6.2. Cam tipleri ve enerji performansı..... 27

2.7. Literatür Özeti, Araştırma Boşluğu ve Yöntemle İlişki..... 29

3. MATERYAL VE YÖNTEM 33

3.1. Vaka Çalışması: Referans Hastane Binasının Belirlenmesi 37

3.1.1. Referans hastane binasının özellikleri 37

3.1.2. Referans hasta odalarının özellikleri 38

3.2.3. Çalışma alanının ve iklim verilerinin belirlenmesi 42

3.2.4. Yapı Kabuğu ve Termofiziksel Özellikler..... 44

3.2. Modelleme ve Parametrik Değişkenler..... 46

3.2.1. DesignBuilder ve EnergyPlus entegrasyonu ……..... 46

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.2.2. Hastane binası modelinin oluşturulması ve kabuller 48

3.2.3. Sınır koşulları ve işletim senaryoları 49

3.3. Simülasyon Senaryoları ve Deneysel Kurgu 50

3.3.1. Saydamlık oranı (WWR) değişkenleri 50

3.3.2. Cam tipi değişkenleri 51

3.3.3. Simülasyon matrisi ve uygulama..... 51

3.4. Değerlendirme Kriterleri 53

3.5. Yöntemin Sınırlılıkları..... 54

4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... 56

4.1. Yapı Kabuğu Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi..... 56

4.1.1. Saydamlık oranı (WWR) ve ısıtma-soğutma dengesi..... 58

4.1.2. Cam teknolojisinin etkisi..... 60

4.1.3. Doğal aydınlatma ve görsel konfor analizi..... 61

4.2. Mekân Düzeni Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi..... 63

4.2.1. Tek taraflı koridor düzeni analizi 67

4.2.2. Çift taraflı koridor düzeni analizi 68

4.2.3. Radyal düzen analizi 69

4.3. Detaylı Analiz: Tampon Bölge Etkisi (B1 ve B2 Karşılaştırması) 70

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.4. Konumun Etkisi ……..... 71

4.4.1. Düşey konum etkisi (zemin - çatı ve infiltrasyon) 72

4.4.2. Yönelim etkisi..... 73

4.5. Çevresel Etki Değerlendirmesi: Karbon Emisyonu..... 75

4.6. Genel Değerlendirme ve Tasarım Rehberi Önerisi..... 76

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 78

KAYNAKLAR DİZİNİ 85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Sistematik literatür taraması PRISMA akış şeması 6

2.2. Bina enerji performans göstergeleri 9

2.3. Literatürde kompleks binalar üzerine yapılan çalışmaların tipolojik dağılımı 11

2.4. Kompleks bina tipolojileri 12

2.5. Hastane binaları ve kullanıcı ilişkisi 13

3.1. Yöntem kurgusu 34

3.2. Hastane binasının kat planları diyagramı 37

3.3. Referans hastane binasının anahtar planı 38

3.4. Hastane binasında seçilen hasta odası birimlerinin diyagramı 39

3.5. Birinci Kat planı ve koridor düzeni 40

3.6. Altıncı Kat planı ve koridor düzeni 40

3.7. Birinci Kat hasta odaları yerleşimi 41

3.8. Altıncı Kat planı ve koridor düzeni 41

3.9. Hasta odası tip planları 42

3.10. Ankara ili aylara göre ortalama sıcaklık verisi 43

3.11. Ankara iline ait gece-gündüz saatleri 43

3.12. DesignBuilder programının arayüzü 47

3.13. DesignBuilder programında mekan işlevlerinin tanımlanması 47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.14. Hastane binasının üç boyutlu model görüntüsü..... 48

3.15. Design Builder programında gün ışığı diyagramı 50

3.16. Simülasyon tasarımı ve akış şeması 50

4.1. Hastane binasının senaryolara göre yıllık toplam ısıtma yükü verileri 57

4.2. Hastane binasının senaryolara göre yıllık toplam soğutma yükü verileri 57

4.3. Hastane binasının senaryolara göre aylık ısıtma yükü verileri 59

4.4. Hastane binasının senaryolara göre aylık soğutma yükü verileri 60

4.5. Hastane binasının senaryolara göre aylık aydınlatma yükü verileri 62

4.6. Hastane binasının senaryolara göre aylık güneş ısı kazancı verileri 62

4.7. Hasta odası mekânsal düzenlerine göre yıllık toplam enerji tüketimi …….. 63

4.8. Hasta Odası B2 HVAC verilerinin dağılımı (S5) 64

4.9. Birinci Kat Hasta odaları aylık ısıtma yükü (S5) 67

4.10. Hasta odaları aylık ısıtma yükü verileri (S5) 68

4.11. Hasta odaları aylık soğutma yükü verileri ……..... 68

4.12. Hasta Odası B1-B2 ısıtma ve soğutma verileri (S5) 70

4.13. Hasta Odası-B2 infiltrasyon analizi (S5) 73

4.14. Hasta odaları aydınlatma aylık enerji tüketimi (S5) 74

4.15. Hasta Odası F1-F2 ısıtma, soğutma ve SHGC verileri (S5) 74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Cam tiplerinin U, SCGH ve VT değeri ……..... 27

3.1. Ankara ilinin ortalama güneşlenme süreleri 41

3.2. Hasta odası birimleri ve karakteristik özellikleri 44

3.3. Hastane binasının malzeme katmanları ve özellikleri 45

3.4. Bina kullanım ve işletim verisi (Aktivite ve Konfor) 46

3.5. Model hastane binasının genel künye bilgileri 49

3.6. Hastane binası model parametreleri ve konfor sınır koşulları 49

3.7. Simülasyon senaryo kurgusu (WWR ve Cam Tipi) 51

3.8. Simülasyon senaryo uygulama matrisi 52

3.9. Senaryo karşılaştırma kurgusu 54

4.1. Hastane binası saydamlık oranı simülasyon sonuçları 58

4.2. Hastane binasının senaryo bazlı yıllık toplam enerji tüketim dağılımı 66-67

4.3. Hasta odalarının S4'e göre yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi 72

4.4. Hasta odalarının enerji tüketim analizi ve gün ışığı potansiyeli 75

4.5. Senaryoların HVAC kaynaklı yıllık karbon emisyonu değerleri 75

4.6. Enerji etkin mekânsal tasarım rehberi 76

5.1. Enerji performansı açısından senaryo karşılaştırması 79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
°C :	Santigrat Derece
h^{-1} :	Saat üzeri eksi bir (Değişim katsayısı birimi)
kg CO_2-e :	Kilogram Karbondioksit Eşdeğeri
kWh :	Kilowatt saat (Enerji birimi)
m^2 :	Metrekare (Alan birimi)
W :	Watt (Güç birimi)
Wh :	Watt saat
% :	Yüzde

Kısaltmalar	**Açıklama**

ACH: Air Changes per Hour (Saatlik Hava Değişimi)

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BPS: Building Performance Simulation (Bina Performans Simülasyonu)

CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

ECBC: Energy Conservation Building Code (Enerji Korunumu Bina Yönetmeliği)

EPW: EnergyPlus Weather Data (EnergyPlus İklim Verisi)

HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)

IEA: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar **Açıklama**

IWEC: International Weather for Energy Calculations

Low-E: Low Emissivity (Düşük Yayınımlı Kaplama)

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

SHGC: Solar Heat Gain Coefficient (Güneş Isı Kazanç Katsayısı)

TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı

U-Değeri: Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m^2K)

VT: Visible Transmittance (Görünür Işık Geçirgenliği)

WHO: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

WWR: Window-to-Wall Ratio (Pencere/Duvar Oranı - Saydamlık Oranı)

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünya genelinde artış gösteren enerji tüketimi, yenilenemez enerji kaynaklarının hızla azalmasına yol açmış, buna bağlı olarak küresel ısınma ve enerji arz güvenliği sorunlarını ortaya çıkarmıştır (Akande vd., 2016; Cesari vd., 2018). Bu sorunlara yanıt olarak çevresel sürdürülebilirlik kavramı benimsenmiş ve enerjinin etkin kullanımına yönelik araştırmalar giderek önem kazanmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2025) verilerine göre küresel ölçekte tüketilen enerjinin yaklaşık üçte biri inşaat sektöründe tüketilmektedir. Bu durum, binalarda enerji tüketiminin azaltılabilmesi için ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma yüklerinin dengeli biçimde ele alınması zorunlu kılmaktadır.

Mevcut literatürdeki çalışmaların büyük bölümü, kullanıcı profili ve kullanım aralıkları daha sabit olan konut ve ofis binalarına odaklanmıştır (Sciurpi vd., 2015; Gürel ve Daşdemir, 2011; Cesari vd., 2018). Buna karşılık, alışveriş merkezleri, terminaller ve hastaneler gibi kompleks binalar, sürekli hizmet zorunluluğu ve kesintisiz çalışan HVAC sistemleri nedeniyle çok katmanlı ve değişken bir enerji kullanım yapısına sahiptir (Kılkış, 2014; Kim vd., 2020; Lamy-Mendes vd., 2021). Kompleks bina tipolojileri içerisinde en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan hastaneler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve HCWH (2019) verilerine göre küresel karbon salınımlarının yaklaşık %4.4 ila %10'unu oluşturmaktadır. Bu tür binalarda kullanım sürekliliği ve kullanıcı çeşitliliği, enerji performansının izlenmesini ve modellenmesini zorlaştırmaktadır (Du vd., 2020; Chen vd., 2021; Deng vd., 2023). Bu nedenle kompleks binalara yönelik enerji analizlerinde, geleneksel bina ölçeğine dayalı yaklaşımların ötesine geçilmesi, daha hassas parametre tanımlarını içeren dinamik ve senaryo temsilli simülasyon modellerinin kullanılması gerekmektedir. Ferreira vd. (2016), özellikle sürekli hizmet veren binalarda enerji performansının izlenmesinin, sürdürülebilir bir çevre oluşturmanın temel adımlarından biri olduğunu vurgulamaktadır.

Hastane binaları 24 saat kesintisiz işletim, yüksek havalandırma gereksinimleri, enfeksiyon kontrolüne yönelik iç ortam koşullarının sağlanması ve yoğun ekipman kullanımı nedeniyle diğer bina tipolojilerinden ayrışmaktadır (Bawaneh vd., 2019; Nasif vd., 2014). Türkiye Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP-TR, 2010; 2017 güncel rehberleri) referanslarına göre sağlık binalarında yıllık birincil enerji kullanımı 350–600 kWh/m²yıl aralığında kabul tanımlanırken, konut binalarında bu değer yaklaşık 70–130 kWh/m²yıl düzeyindedir. Bu durum, sağlık binalarının konut binalarına kıyasla 4 ila 6 kat daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğunu göstermektedir. (Devlin ve Arneill, 2003).

Isı transferlerinin en yoğun gerçekleştiği bileşen olan yapı kabuğu, enerji performansında belirleyici rol oynamaktadır (Calama-González vd., 2019). Literatürde dış duvar yalıtımı ve pencere sistemleri üzerine yoğunlaşan çalışmalar bulunsa da, bu araştırmaların büyük bölümü yine konut ve ofis ölçeğinde kalmıştır (Sciurpi vd., 2015; Gürel ve Daşdemir, 2011; Cesari vd., 2018). Saydamlık oranı (WWR), iklim koşullarına bağlı olarak enerji yüklerini doğrudan etkileyen kritik bir tasarım kararıdır (Hashempour vd., 2020; Zorita vd., 2016) . Buna karşın, literatürde bina morfolojisi ve kabuk özellikleri kapsamlı biçimde ele alınırken, mekân düzeninin enerji tüketimi üzerindeki etkisi genellikle kullanıcı deneyimi veya güvenlik bağlamında değerlendirilmiş, enerji boyutu ikincil planda tutulmuştur (Du vd., 2020). Mekân düzenine odaklanan çalışmalar sınırlı sayıda olup, ofis binalarının şeması ve konutlarda mahal yerleşimi üzerinden yürütülmüştür (Hedge, 1982; Musau ve Steemers, 2008). Çalışmalar; plan şeması, alan tahsisi, mekân boyutları ve iç geometrinin enerji tüketimini etkilediği ortaya koymuştur (Yang ve Zhang, 2023; Hedge, 1982; Musau ve Steemers, 2008).

Bu tez çalışması, literatürdeki bu boşluğu ele alarak referans bir hastane binasında hasta odalarının mekânsal düzeni, saydamlık oranı ve cam tipinin, bina enerji performansı üzerindeki etkilerini bütüncül bir bakış açısıyla incelemektedir. Oda ölçeğinde ve iklim duyarlı bir enerji simülasyonu yaklaşımı benimsenerek, doğal aydınlatma stratejilerine bağlı olarak tüketilen ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma enerjileri nicel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, hastane binalarında mekânsal yerleşim kararlarının enerji performansı ile ilişkisini ortaya koymak ve sürdürülebilir tasarım

stratejilerine yönelik analitik bir çerçeve sunmaktır. Bu doğrultuda tez çalışmasının temel araştırma soruları şu şekilde tanımlanmaktadır:

- Kompleks binalarda farklı mekânsal düzen tipolojileri enerji tüketimini ne ölçüde etkilemektedir?
- Saydamlık oranındaki (WWR) değişim hangi temel enerji yükleri üzerinde baskılayıcı ve artırıcı etkileri hangi mevsimsel koşullarda belirleyici olmaktadır?
- Farklı cam tiplerinin ısı kazancı/kaybı ve güneş kontrolü performansı, seçilen iklim bölgesinde hangi dış iklim koşullarında enerji tüketimini belirleyici hâle gelmektedir?
- Mekânsal düzen, saydamlık oranı (WWR) ve cam tipi parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, yıllık toplam enerji tüketimini en aza indiren tasarım kombinasyonu hangisidir?

Tez çalışmasının hipotezi, hastane hasta odalarının enerji performansının mekânsal organizasyon, saydamlık oranı ve pencere sistemlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak binanın yıllık enerji tüketiminde anlamlı değişiklikler oluşturduğu yönündedir. Mekânsal düzen ve pencere sistemlerinin birlikte ele alınması, tekil parametrik iyileştirmelere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği potansiyeli sunmaktadır. Bu yaklaşımın ortaya koyduğu bulguların, hastanelerde enerji performansının değerlendirilmesine yönelik çalışmaların farklı iklim ve kriz koşulları altında yeniden yorumlanmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışma, hastane binalarında enerji performansını mekânsal düzen, saydamlık oranı ve pencere sistemleri bağlamında bütüncül biçimde ele almak amacıyla kurgulanmıştır. Bu doğrultuda, ikinci bölümde Web of Science (WoS) veri tabanında son on yıl içerisinde yayımlanan derleme ve araştırma makalelerine dayalı olarak yürütülen sistematik literatür taraması sunulmakta; kompleks binalar, hastane yapıları ve hasta odası ölçeğinde enerji performansını etkileyen temel yaklaşımlar ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, araştırmanın yöntemsel çerçevesi açıklanmakta; vaka çalışmasına konu olan hastane binasının tanıtımı, kullanılan simülasyon tabanlı yazılımlar, oluşturulan enerji modeli ve veri analizine yönelik yaklaşımlar ayrıntılı olarak aktarılmaktadır. Dördüncü bölümde simülasyonlardan elde edilen bulgular sunulmakta ve farklı senaryo kurgularına ait enerji performansı sonuçları

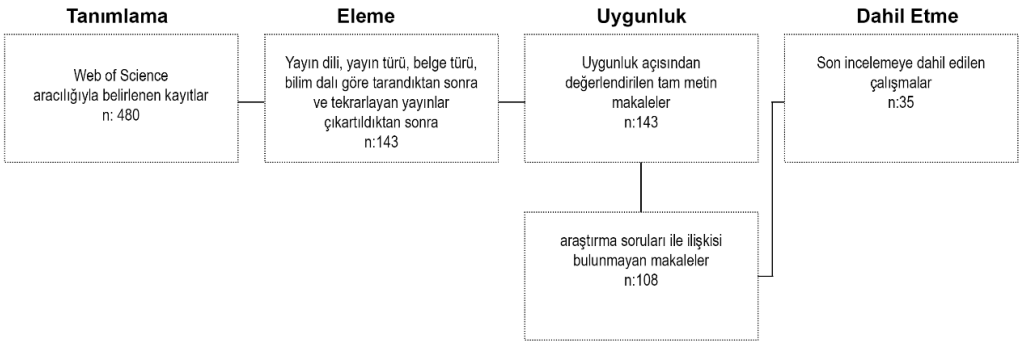
karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Son bölümde ise çalışmanın temel çıktıları özetlenmekte; elde edilen bulgular literatür bağlamında tartışılarak çalışmanın katkıları, sınırlılıkları ve gelecekte yürütülebilecek araştırmalara yönelik potansiyel yönelimler ortaya konmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez çalışmasının problem tanımı, araştırma soruları ve hipotezine atıfla yürütülmüş olan sistematik literatür taraması sunulmaktadır. Bina enerji tüketiminin optimizasyonu, kabuk tasarımı ve enerji performansı üzerine yürütülmüş çalışmalar Bölüm 2.1 kapsamında sunulmaktadır. Bölüm 2.2'de, kompleks binalarda enerji tüketimi, Bölüm 2.3 kapsamında ise tez çalışmasının ana parçası olan hastane binalarında enerji performansı konusuna odaklanmaktadır. Hasta odaları ile ilgili detaylı veri analizi ise Bölüm 2.4 kapsamında aktarılmaktadır. Bölüm 2.5'te ise yapı kabuğu, pencere sistemleri ve saydamlık oranına ilişkin yürütülen çalışmalar sunulmaktadır. Literatürden yapılan çıkarımlar yöntem kurgusunu destekleyecek biçimde Bölüm 2.6'da özetlenerek tezin katkısı ortaya konmaktadır.

2.1. Sistematik Literatür İncelemesi: Kompleks Binalarda Enerji Tüketimi

Web of Science (WoS) veritabanı, uygulamalı bilimler, sosyal bilimler, sanat ve beşeri bilimler gibi çeşitli alanlardan kapsamlı bir araştırma ağıdır ve araştırmacıların araştırma makaleleri, derleme makaleleri, konferans bildirileri ve/veya kitap bölümleri gibi farklı yayın türleri arasında ayrım yapmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada yürütülen sistematik literatür incelemesi yalnızca araştırma ve derleme makaleleri ile sınırlandırılmıştır. WoS kategorilerinin sınırlanması doğrultusunda, belirlenen anahtar kelime kombinasyonlarıyla yapılan tarama sonucunda toplam 480 derleme ve araştırma makalesi elde edilmiştir. Mevcut çalışmanın kapsamı dışında kalan ve birden fazla aramada tekrarlanan yayınlar elenerek 143 makale değerlendirmeye alınmıştır. Bu makalelerin özetleri incelenerek bina tipolojilerine odaklanmaları ve enerji performans değerlendirme metodolojilerine göre sistematik inceleme için toplam 35 makale seçilmiştir (Şekil 2.1). Seçilen çalışmalar; bina tipi, iklim ve konum, çalışma ölçeği, izleme ve veri toplama yöntemleri, simülasyon ve kalibrasyon yaklaşımları, değerlendirme parametreleri ve karar verme modelleri başlıkları altında gruplanarak literatürdeki genel çerçeve ortaya konmuştur.



Şekil 2.1. Sistematik literatür taraması PRISMA akış şeması

2.2. Küresel Enerji Sorunu ve İnşaat Sektörü

Sanayi devrimi ile birlikte hızla artan enerji kullanımı, fosil yakıtların yoğun tüketimi ve buna bağlı karbon ayak izindeki artış küresel ölçekte çevresel ve ekonomik krizleri beraberinde getirmiştir (Hashempour vd., 2020; Yuan vd., 2022; Zaza vd., 2022). İnşaat sektörü hem yapım sürecinde hem de kullanım aşamasında yüksek enerji talebi nedeniyle bu krizin başlıca aktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Isıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri, bina ölçeğinde enerji tüketiminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Yuan vd., 2022). Bu bağlamda enerji verimliliği, yalnızca mevcut binaların iyileştirilmesiyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda yeni yapılacak binaların tasarım aşamasında enerji performansının öngörülmesi yoluyla ele alınmalıdır (Aydın, 2019; Erdal ve Karakaya, 2012; Yaman, 2021). Literatürde, tasarım kararlarının bina kullanımı boyunca gerçekleşecek enerji tüketiminin büyük bir bölümünü belirlediği vurgulanmaktadır (Yıldız, vd., 2011). Bu nedenle, enerji performansının erken tasarım aşamalarında değerlendirilmesi kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Kheiri, 2013).

2.3. Binalarda Enerji Tüketimi ve Performans Yaklaşımları

Yenilenemez enerji kaynaklarına olan talebin artması, iklim değişikliği ve küresel ölçekte yükselen enerji tüketimi; inşaat sektörünü, enerjinin korunumu açısından öncelikli

bir müdahale alanı haline getirmiştir (Kim vd., 2020). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2019) verilerine göre, küresel ölçekte tüketilen enerjinin yaklaşık yüzde otuzu inşaat ve bina sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu tablo, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda; binalarda enerji kullanımının izlenmesini, ölçülmesini, modellenmesini ve optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bina enerji performansının belirlenmesine yönelik çalışmalar simülasyon tabanlı yazılımların yaygınlaşması ve hesaplama algoritmalarının gelişmesiyle birlikte özellikle 1990'lı yıllardan itibaren dünya genelinde hız kazanmıştır (Pérez-Lombard vd., 2008; Hashempour vd., 2020). Literatürde bina enerji tüketimi; istatistiksel analiz, sayaç verisinin toplanması, saha ölçümleri, laboratuvar çalışmaları ve bina performans simülasyonları gibi çeşitli yöntemlerle ele alınmaktadır (Ahmed vd., 2017; Hashempour vd., 2020; Yuan vd., 2022; Zorita vd., 2016). Simülasyon tabanlı yöntemler, tasarım aşamasında binanın enerji tüketiminin öngörülmesine ve farklı senaryoların test edilmesine olanak tanıması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Fakat mevcut araştırmaların çoğu, işlevsel özellikleri görece daha basit olan konut ve ofis binalarına odaklanmaktadır (Sciurpi vd., 2015; Gürel ve Daşdemir, 2011; Cesari vd., 2018). Çok katmanlı kullanıcı profiline sahip, sistemsel gereksinimleri yoğun ve kullanım aralığı sürekli olan karmaşık bina tipolojileri ise literatürde sınırlı ölçüde temsil edilmektedir (Yıldız vd., 2022; Yuan vd., 2022; Zaza vd., 2022). Bu durum özellikle enerji tüketimi yüksek olan kompleks binalar için önemli bir araştırma boşluğunu ifade etmektedir.

2.3.1. Bina enerji performansı ölçüm yöntemleri

Enerji tüketiminin hesaplanması, saha çalışmaları, anketler, sensör tabanlı ölçümler, sayaç verilerinin toplanması ve bulut tabanlı yazılımlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (Bagnasco vd., 2017; Bjørnskov vd., 2022) Bulut tabanlı yazılımlar, zaman ve mekân açısından araştırmacılara önemli derecede uygulama kolaylığı sağladığı için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Binanın enerji performansını ölçmek amacıyla istatistiksel, fiziksel, algoritmik ve simülasyon modelleri oluşturulmaktadır. Bu modeller, binanın gerçek enerji tüketimine en yakın sonuçların elde edilmesi ve analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadır

(Ahmed vd., 2017; Cesari vd., 2018; Sayadi vd., 2021). Enerji tüketimini değerlendirmek için kullanılan karar verme modelleri, çalışmanın amacı ve incelenen değişkenlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Bu doğrultuda tercih edilen yazılım araçları da çalışmanın teması ve ölçeğine göre belirlenmektedir.

Ahmed vd. (2017) tarafından Avustralya'da günlük cerrahi ve prosedür merkezlerinden birinde, binanın gerçek yıllık enerji tüketimini kalibre etmek amacıyla binada kısa süreli ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları simülasyon modelinin çıktıları ile karşılaştırılarak model doğrulaması yapılmıştır. Bjørnskov vd. (2022) Danimarka'da yakın zamanda yenilenen bir hastane binasının sistem verimliliğini, sıcaklık ve güç sensörleri kullanılarak EnergyPlus programında oluşturulan simülasyon modeli üzerinden test etmiştir. Algburi ve Beyhan (2019) bir konutun soğutma için harcadığı enerji miktarını ölçmek için, Design Builder programında binayı modelleyerek pasif soğutma stratejilerinin optimizasyonu için simülasyon oluşturmuştur. DesignBuilder, literatürde en sık kullanılan bina performans simülasyonu (BPS) yazılımları arasında yer almakta olup, farklı yazılım dilleri ve modüllerle entegre çalışabilmesi sayesinde kapsamlı analizlere olanak tanımaktadır.

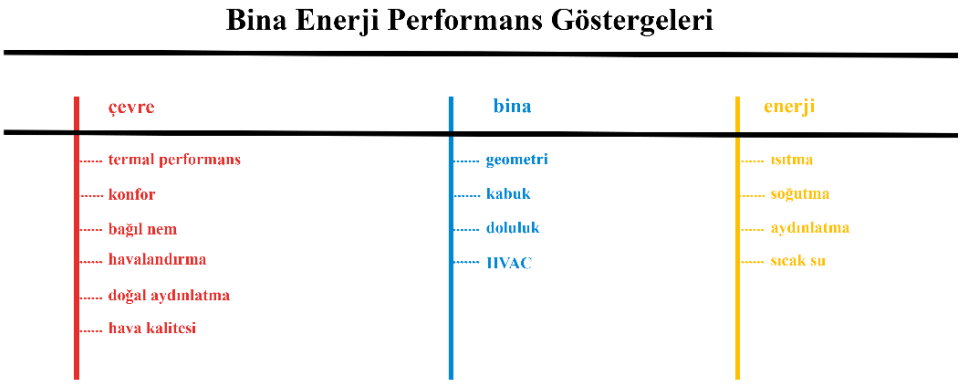
Mateus vd. (2014) tarafından yürütülen çalışmada, dış iklim koşullarına maruz kalan bir test odasının güney cephesine entegre edilmiş mekanik ve doğal havalandırmaya sahip çift cidarlı cephe sistemlerini analiz edilmiştir. Simülasyon modelinin kalibrasyonu kapsamında, (a) farklı ısıl zonlama senaryoları, (b) gölgelendirme elemanı açıları, (c) zemin temaslı ısı kaybı ve (d) güneş ışığı verileri gibi kritik parametreler üzerinden hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı iklim verileriyle çalıştırılan simülasyonlar sonucunda, yazılımın sıcaklık tahminlerindeki ortalama sapmanın 1,4°C ile kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı raporlanmıştır.

Hastane binalarında enerji performansını ele alan çalışmalar, ağırlıklı olarak nicel veri toplama yöntemlerine dayanmakta ve simülasyondan elde edilen çıktıları üzerinden analiz edilmektedir (Yuan, ve diğerleri, 2022). Bu kapsamda, binaların dijital ikizleri oluşturularak uygulama öncesi ve sonrası süreçlere ilişkin enerji davranışları

öngörülmektedir (Almodovar-Melendo vd., 2018; Lamy-Mendes vd., 2021). EnergyPlus ve DesignBuilder yazılımları, gerçek duruma yakın sonuç üretme kapasiteleri ve detaylı analiz imkânları nedeniyle literatürde en sık tercih edilen simülasyon araçları arasında yer almaktadır (Lomas vd., 2012; Yıldız vd., 2022).

2.3.2. Bina enerji performansını belirleyen temel parametreler

Bina enerji performansı çok sayıda parametrenin etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (Calama-González vd., 2019). Literatürde bu parametreler genel olarak yapı kabuğu özellikleri, mekan düzeni, pencere sistemleri, gün ışığı kazanımları ve HVAC işletim stratejileri başlıkları altında toplanmaktadır (Hashempour vd., 2020; Siriwardena vd., 2019). Şekil 2.2.'de bina enerji performans göstergeleri sunulmuştur.



Şekil 2.2. Bina enerji performans göstergeleri

Yapı kabuğu; binanın dış çevre koşulları ile iç ortam konforu arasındaki enerji kayıplarının ve kazançlarının kontrol edildiği fiziksel köprüdür (Calama-González vd., 2019; Jiménez Mejía vd., 2020). Pencere sistemleri ise hem gün ışığı kazanımı hem de ısı geçişi açısından enerji dengesini doğrudan etkilemektedir. Gün ışığı kullanımının artırılması, aydınlatma enerjisini azaltma potansiyeline sahipken, aynı zamanda güneş kaynaklı ısı kazançları nedeniyle soğutma yüklerini artırabilmektedir (Calama-González vd.,

2019). Mekan düzeni, literatürde görece daha sınırlı ele alınan bir parametre olmakla birlikte, yüzey alanı/hacim oranı, termal zonlama ve fonksiyonların dağılımı yoluyla enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. HVAC sistemlerinin işletim stratejileri ve kullanıcı davranışları ise tasarlanan fiziksel özelliklerin gerçek enerji performansına yansımasında belirleyici olmaktadır (Hong vd., 2018; Chen vd., 2021).

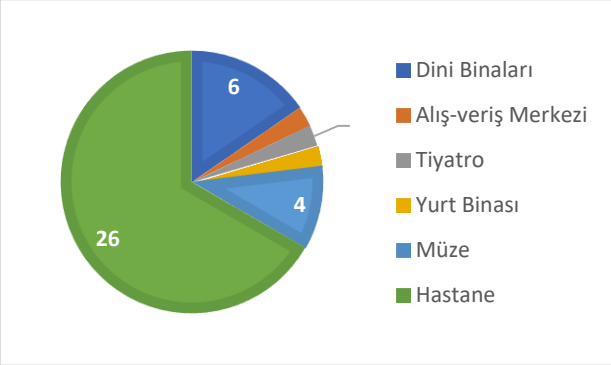
Literatürde bu parametreler çoğunlukla tekil olarak incelenmiştir, mekân düzeni ile yapı kabuğu kararlarının birlikte ve bütüncül biçimde ele alındığı çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu durum, özellikle karmaşık bina tipolojileri için önemli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir.

Simülasyon araçları hızlı veri akışı sunması yönüyle literatürde sıklıkla kullanılan nicel veri araştırma yöntemleri arasında yer almaktadır. Pencere sistemlerine, doğal aydınlatma kriterlerine ve enerji tüketimin optimizasyonuna ilişkin çeşitli yazılımlar bulunmaktadır (Tekin vd., 2018). Diğer yazılımlarla entegre çalışabilmeleri ve çok sayıda değişkenin kontrolüne olanak sağladıkları için araştırmacılar tarafından sıklıkla Design Builder ve EnergyPlus yazılımları kullanılmaktadır (Pandey vd., 2021). Simülasyon model verileri ile mevcut durumdaki verilerin yüksek oranda örtüşmesi bu programların tercih edilmesinin temel nedenidir (Ahmed vd., 2017). Gerçek duruma yakın veri üretilmesi teorik bilginin pratiğe aktarılması noktasında araştırmalara önemli bir katkı sağlamaktadır.

2.4. Kompleks Binalarda Enerji Tüketimi

Kompleks binalar, işlevsel çeşitlilik, sistem gereksinimlerinin yoğunluğu, kullanıcı sayısının fazlalığı ve kullanım sürekliliği nedeniyle enerji performansı açısından konut ve ofis binalarından belirgin biçimde ayrışmaktadır. Eğitim binaları, alışveriş merkezleri, terminal binaları ve hastaneler bu tipolojinin başlıca örnekleri arasında yer almaktadır (Hashempour vd., 2020; Kim vd., 2020). Bu tür binalarda enerji tüketimi yalnızca yapı kabuğu verimliliği veya HVAC sistemlerinin işletimiyle sınırlı kalmamakta, fonksiyonlar arası ilişkiler, mekân organizasyonu ve kullanım sürekliliğine bağlı olarak şekillenmektedir

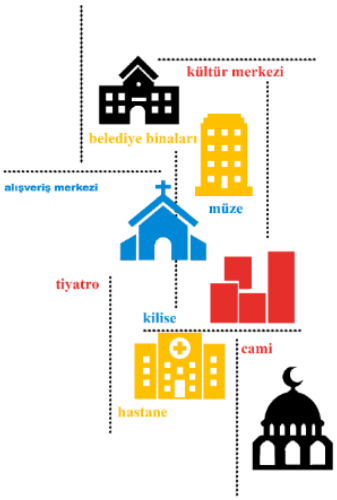
(Hashempour vd., 2020). Bu nedenle kompleks binalarda enerji tüketimi analizi, yalın bina tipolojilerine göre daha detaylı ve katmanlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Şekil 2.3'te kompleks binalar ile ilgili literatürdeki çalışmaların bina tipoloji dağılımı aktarılmıştır.



Şekil 2.3. Literatürde kompleks binalar üzerine yapılan çalışmaların tipolojik dağılımı

2.4.1. Kompleks bina tipolojileri ve enerji profilleri

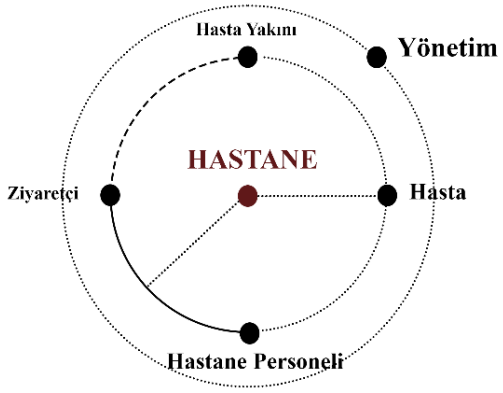
Kompleks bina tipolojileri, kullanıcı profilindeki değişkenlik ve kullanım sürekliliği nedeniyle enerji tüketiminin kesintisiz olduğu yapı türleri arasında yer almaktadır (Hashempour vd., 2020; Kim vd., 2020, Yuan vd., 2022). Terminaller, sağlık tesisleri, alış-veriş merkezleri, üniversiteler ve müzeler buna örnek gösterilebilir (Şekil 2.3.). Bu tür binalarda aydınlatma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri günün her saati aktif biçimde çalışmakta; enerji tüketimi yalnızca iklimsel koşullara değil, aynı zamanda kullanım senaryolarına bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir. Buna karşın mekânsal düzen tasarımı ve plan tipolojilerinin enerji tüketimi üzerindeki etkileri çoğunlukla ikincil düzeyde ele alınmakta ya da göz ardı edilmektedir (Balvedi vd., 2018; Devlin ve Arneill, 2003; Pérez-Lombard vd., 2008). Hastane binaları, kompleks bina tipolojileri içerisinde enerji tüketimi en yüksek olan yapı türlerinden biridir. Sistem gereksinimlerinin yoğunluğu ve kullanıcı profilinin çeşitliliği nedeniyle, özellikle havalandırma sistemleri başta olmak üzere iç mekân konfor koşullarının sağlanması için yüksek enerji tüketimi söz konusudur (Yuan vd., 2022).



Şekil 2.4. Kompleks bina tipolojileri

2.4.2. Hastane binalarının enerji açısından ayırt edici özellikleri

Kesintisiz hizmet sağlama zorunluluğu, yüksek iç hava kalitesi standartları, tıbbi ekipman kullanımı ve farklı kullanıma sahip mekanların bir arada kurgulanması nedeniyle hastane binaları, kompleks bina tipolojileri içinde yer almaktadır. Literatürde hastanelerin metrekare başına enerji tüketiminin, konut ve ofis binalarına kıyasla birkaç kat daha yüksek olduğu vurgulanmaktadır (Yuan vd., 2022). Kompleks binalara yönelik çalışmalar ağırlıklı olarak hastane binaları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ölçek büyüdükçe kullanılan enerji miktarı da doğrusal olarak artmaktadır (Alotaiby ve Krenyácz, 2023). García Sanz-Calcedo vd., (2011) yaptıkları çalışmada kullanıcı sayısının ve yüzey alanının enerji kullanımı üzerindeki etkisini inceleyerek yüzey alanı arttıkça kullanılan enerji miktarının arttığını istatiksel olarak saptamıştır. Alan boyutunun arttırılması ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma için konfor koşullarını sağlamak amacıyla daha fazla enerji harcanması demektir.



Şekil 2.5. Hastane binaları ve kullanıcı ilişkisi

Hasta odaları, ameliyathaneler, laboratuvarlar, hemşire odaları, acil bakım servisleri ve yoğun bakım üniteleri gibi farklı mekanlar, birbirinden farklı ısıl ve görsel konfor koşulları gerektirmektedir (Hashempour vd.,2020; Yuan vd., 2022). Şekil 2.5.'te görüldüğü üzere hasta, ziyaretçi, personel ve hasta yakını gibi farklı düzeyde aktifliğe sahip kişilerin tarafından kullanılmaktadır. Bu nedenle, hastane binalarında tek tip konfor koşulu veya enerji yönetimi anlayışı benimsenmesi mümkün değildir.

2.5. Hastane Binalarının Enerji Performansı

Hastane binaları, haftanın yedi günü, 24 saat kesintisiz olarak işletilmektedir. Bu yapı tipinde enerji talebi yüksek olup, tüketilen enerji miktarı hasta bakımı ve iyileşme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Kullanım süresi, özel ekipman ihtiyaçları, kullanıcı profilindeki çeşitlilik ve kullanım yoğunluğu bu binaların enerji tüketim miktarını diğer tipolojilerden farklılaştırmaktadır (Devlin ve Arneill, 2003; Ansari, 2014; Hong vd., 2018; Sciurpi vd., 2015). 2019 yılında ABD'de yapılan bir çalışmada hastanelerinin enerji yoğunluğunun ortalama 738,5 kWh/m2 olduğu belirtilmiştir ve bu yoğunluğun diğer ticari binalarla karşılaştırıldığında ortalama 2,6 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir (Bawaneh vd., 2019). Buna rağmen literatürde hasta odalarının mekânsal düzeni, pencere sistemleri ve saydamlık oranının yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma yüklerine çok boyutlu etkisini dinamik simülasyon yöntemleriyle inceleyen, oda ölçekli ve iklim verisi ile entegre edilmiş kapsamlı çalışmaların sayısı sınırlı kalmaktadır.

Hastane binalarının enerji performansına yönelik literatür incelendiğinde, araştırma odağının sistem verimliliği ve yapı kabuğu optimizasyonu üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yuan vd. (2022) tarafından yapılan kapsamlı taramada, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunun HVAC sistemlerinin iyileştirilmesi veya yüksek performanslı yalıtım malzemeleri gibi teknik çözümlere yöneldiği belirtilmektedir. Ancak bu teknik odaklı yaklaşım, mimari tasarımın en temel bileşeni olan mekânsal düzenin (spatial layout) enerji tüketimi üzerindeki pasif etkisini ikincil plana atılmaktadır (Yuan vd., 2022).

Hastane binalarındaki organizasyonun kesintisiz devam etmesi için enerjinin kullanımı süreklilik göstermektedir. Özellikle elektrik enerjisi, gerekli ekipmanların ve sistemlerin çalıştırılması için kritik bir öneme sahiptir (Ansari, 2014; Hong vd., 2018; Sciurpi vd., 2015). Enerjinin en yoğun kullanıldığı alan ise hem gece hem de gündüz işletilen aydınlatma sistemleridir. Yakıt enerjisi ise, binanın ısıtma ve sıcak su gibi ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle, tüketilen enerji yönetilmesi son derece önemli bir konu başlığı haline gelmiştir. Literatürdeki çalışmalar genel olarak yapı kabuğundaki değişikliklere göre ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma için kullanılacak enerji miktarını ve kullanıcı konfor koşullarını izlemektedir (Yuan vd., 2022).

Pérez-Lombard vd. (2008), hastanelerin enerji yoğun yapısını analiz ederken tüketimin büyük kısmını mekanik sistemlere bağlasa da bu sistemlerin yükünü belirleyen asıl faktörün mimari planlama kararları olduğunu tartışmaya açmamıştır. Buna rağmen, Balvedi vd. (2018) ile Kim vd.nin (2020) çalışmalarında görüldüğü üzere; kütle geometrisi veya yönelim gibi makro form kararları incelenmiş, ancak bina içi mekân diziliminin ısıtma-soğutma yüklerine olan doğrudan etkisi sınırlı bir çerçevede ele alınmıştır (Balvedi vd., 2018; Kim vd., 2020; Pérez-Lombard vd., 2008).

Devlin ve Arneill (2003), hastane tasarımlarında iyileştirici çevre kalitesi ile enerji verimliliği arasındaki ilişkiyi irdelemekle birlikte, mekânsal kurgunun enerji performans verileriyle sayısal olarak ilişkilendirildiği çalışmaların literatürde önemli bir boşluk teşkil

ettiğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla mevcut literatür, teknolojik iyileştirmeler konusunda doygunluğa ulaşmışken, mekânsal planlama kararlarının enerji etkinliği üzerindeki potansiyelini ortaya koyacak parametrik çalışmalara ihtiyaç duymaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, hastane enerji performansının ağırlıklı olarak "mekanik sistem verimliliği" (HVAC iyileştirmeleri) üzerinden ele alındığı görülmektedir (Devlin ve Arneill, 2003; Ansari, 2014; Hong vd., 2018). Ancak, mimari tasarımın (plan şeması, koridor düzeni) pasif bir enerji parametresi olarak sisteme entegre edildiği çalışmalar sınırlıdır. Bu tez, teknik donanım iyileştirmelerinden ziyade, mimari kurgunun enerji üzerindeki belirleyiciliğine odaklanarak bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

2.5.1. Sistem odaklı çalışmalar

Literatürde hastane binalarının enerji performansını iyileştirmeyi hedefleyen çalışmaların önemli bir bölümü, mekanik sistemlerin (HVAC) verimliliğine ve işletme stratejilerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, hastanelerin yüksek enerji tüketimini azaltmada aktif sistemlerin rolünü ortaya koymakla birlikte mimari tasarımın pasif etkisini çoğunlukla kapsam dışı bırakmıştır.

Örneğin; Alotaiby ve Krenyácz (2023) sağlık yapılarında VRF sistemleri ve enerji yönetim otomasyonlarını; Fraile vd. (2014) ise HVAC ve aydınlatma sistemlerindeki bakım süreçlerini incelemişlerdir. Her iki çalışmada da sistemsel iyileştirmeler yoluyla metrekare başına önemli enerji tasarrufları (yaklaşık 8.6 kWh/m²) sağlanabildiği gösterilmiştir. Ancak bu tasarrufların mekânsal kurgudan bağımsız teknik müdahalelerle sınırlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, havalandırma sistem bileşenlerine odaklanan Nasif ve Al-Waked (2014) ile Kassai (2019), ısı geri kazanım üniteleri ve ısı tekerleği (heat wheel) teknolojilerinin soğutma yüklerini %25'e varan oranlarda azaltabildiğini deneysel verilerle sunmuşlardır. Ancak bu ve benzeri sistem odaklı araştırmalarda, yapı kabuğu ve mekânsal düzen genellikle sabit bir arka plan verisi olarak kabul edilmiş; mimari tasarım kararlarının

(plan şeması, oda derinliği, koridor konumu vb.) mekanik sistem yüklerini nasıl hafifletebileceği tartışmaya açılmamıştır. Sistemsel çalışmalar mimarideki tasarım etkisini ihmal etmektedir.

Sonuç olarak mevcut literatür, teknolojik/mekanik iyileştirmeler konusunda belirli bir doygunluğa ulaşmış olsa da, enerji verimliliği potansiyelinin "sistemi iyileştirmek" yerine "sisteme binen yükü mimari kararlarla azaltmak" yönündeki pasif stratejiler bağlamında, özellikle hastane tipolojisi özelinde hala büyük bir araştırma boşluğu barındırmaktadır.

2.5.2. Yapı kabuğu odaklı çalışmalar

Yapı kabuğu odaklı çalışmalar şeffaf ve opak yüzeylerin dağılımı, yalıtım düzeyi, pencere sistemlerinin özellikleri ve cam tipleri gibi parametrelerin enerji tüketimi üzerindeki etkisini irdelemektedir (Rahman vd., 2021). Bu çalışmalar özellikle ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik bulgular sunmaktadır (Cesari vd., 2018). Ancak mevcut literatür büyük ölçüde konut ve ofis binalarına odaklanmakta; hastane binalarının kesintisiz kullanım gereksinimi, işlevsel çeşitliliği ve yüksek konfor standartları çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Hastane binalarının özgün operasyonel yapısı nedeniyle, yapı kabuğu tasarımına ilişkin parametrelerin bu tipolojiye doğrudan uyarlanması mümkün değildir. Bu nedenle hastane binalarının, detaylı ve hassas ölçümlerle, tipolojiye özgü değerlendirmeler üzerinden ele alınması gerekmektedir.

Zorita vd. (2016), yapı kabuğunda pencere alanı, cephe oranları ve açıklık konfigürasyonları ile yıllık enerji tüketimi üzerinde anlamlı farklılıklar yaratabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, yapı kabuğuna ilişkin tasarım kararlarının yalnızca malzeme düzeyinde değil, geometrik ve morfolojik düzeyde de enerji performansını belirlediğini ispatlamıştır (Zorita vd., 2016).

2.5.3. Mekan düzeni ve enerji tüketimi

Mekan düzeni tasarımının enerji üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar literatürde oldukça kısıtlıdır. Mevcut çalışmalar, plan şeması, yüzey alanı/hacim oranı ve fonksiyon dağılımı parametrelerinin enerji tüketimini belirleyebileceğini göstermektedir (Yang ve Zhang, 2023; Du vd., 2020). Benzer ısıl özelliklere sahip fonksiyonların bir arada kurgulanması ve sirkülasyon alanlarının optimize edilmesi enerji verimliliğini sağlayan önemli stratejiler arasında yer almaktadır (Deng vd., 2023; Shi vd., 2021).

Hastane binalarında mekansal düzen tasarımı ise literatürdeki çalışmalara dahil edilmemiştir. Hasta odalarının mekânsal organizasyonu, koridor tipolojileri ve cephe ilişkisi hem ısıtma-soğutma hem de aydınlatma yüklerini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda mekânsal düzen ile yapı kabuğu kararlarını birlikte ele alan, oda ölçekli ve simülasyon tabanlı çalışmaların eksikliği literatürde belirgin biçimde göze çarpmaktadır (Deng vd., 2023; Hedge, 1982; Shi vd., 2021).

2.6. Hasta Odaları: Mikro Ölçekte Enerji Performansı

Mevcut çalışmaların büyük bölümü ya bina ölçeğinde makro analizlere ya da HVAC sistemleri ve aydınlatma gibi bileşen ölçeklerine odaklanmaktadır. Buna karşın, hastane binalarının toplam enerji tüketiminde önemli paya sahibi olan ve konfor gereksinimlerinin en üst düzeyde tanımlandığı hasta odaları gibi "mikro mekânların" enerji davranışı literatürde irdelenmesine rağmen (Cesari, vd., 2018), bu odaların "mekânsal konumunun" (koridor arkası, köşe oda, iç avlu vb.) enerji tüketimine etkisini nicel verilerle karşılaştıran simülasyon çalışmaları yetersizdir. Hasta odasını binadan bağımsız bir birim değil, mekânsal kurgunun bir parçası olarak ele alan bu çalışma, literatüre yeni bir bakış açısı sunmaktadır.

Hastanelerde, hasta odaları hem kullanım sıklığı hem de kullanıcı profilindeki hassasiyet nedeniyle enerji performansı açısından en kritik mekanlar arasında yer

almaktadır. Günün her saati aktif biçimde kullanılan hasta odaları, ısıl ve görsel konfor koşulları hastaların iyileşme sürecini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle hasta odalarında enerji tüketiminin optimizasyonu, yalnızca enerji kullanımının azaltılması değil, aynı zamanda konfor koşullarının sürdürülebilirliği bağlamında da değerlendirilmelidir.

Hasta odalarının tasarımında temel amaç, hastaların konfor, güvenlik ve iyileşme koşullarını destekleyen nitelikli bir fiziksel ortamın sağlanmasıdır (Adams, 2008). Literatürde hasta odalarındaki ısıl, görsel ve akustik konforun hastaların iyileşme sürecini doğrudan etkilediğini ortaya koyan deneysel araştırmalar bulunmaktadır. Bu durum, hasta odalarının enerji performansının diğer mekânlara kıyasla daha dar konfor aralıkları içinde değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Literatürde hastane binalarının enerji performansına yönelik çalışmalar sıklıkla bina ölçeğinde veya sistem düzeyinde yürütülmüştür; hasta odaları genellikle bu bütünün homojen bir parçası olarak ele alınmıştır. Oysa, hasta odaları diğer hastane mekanlarından bağımsız olarak, uzun süreli kullanım, dış çevreyle aktif ilişki ve düşük toleranslı konfor aralığı nedeniyle mikro ölçekte hassas bir araştırma gerektirmektedir (Cesari vd., 2018). Bu bağlamda hasta odalarının mekânsal özellikleri, cephe ile kurduğu ilişki ve pencere sistemleri, enerji tüketimini belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır.

2.6.1. Hasta odalarının mekân düzeni

Mimarlık disiplini, iç ve dış mekân arasındaki sınırları tanımlayarak yaşanabilir alanlar üretmeyi amaçlamaktadır. Tasarım sürecinde alınan mekânsal kararlar, binanın fiziksel özellikleri ve sistem kurgusunu eş zamanlı olarak şekillendirmektedir. Sirkülasyon alanları, servis mekânları, hücresel birimler ve ortak kullanım alanları belirli bir organizasyon çerçevesinde bir araya gelerek mekânsal düzeni oluşturmaktadır (Hedge, 1982). Bu düzen, işlevsellik, kullanıcı deneyimi, güvenlik, konfor ve boyut gibi çok sayıda parametrenin uyumunu içermektedir. Hastane binalarında mekânsal düzen, ameliyathaneler, hasta odaları, laboratuvarlar ve bekleme alanları gibi farklı iç ortam konfor koşullarının

sağlanmasını gerektiren işlevlerin bir arada kurgulanmasını zorunlu kılmaktadır (Siriwardena vd., 2019; Yeom vd.,2020). Benzer konfor koşullarına sahip mekânların birlikte gruplanması, yüzey alanı/hacim oranının dengelenmesi ve sirkülasyon alanlarının optimize edilmesi enerji tüketimini azaltmaktadır (Bawaneh vd., 2019). Du vd. (2020), mekânsal düzen odaklı tasarım kararlarının yıllık ısıtma ve soğutma enerjisinde %14'e varan, aydınlatma ve havalandırma yüklerinde ise %67'ye ulaşan azalmalar sağlayabildiğini ortaya koymuştur (Du vd., 2020). Ancak hasta odası ölçeğinde, iklim verisi ile entegre ve çok parametreli biçimde ele alındığı örnekler literatürde sınırlı kalmaktadır.

Hastane odalarında belirli tıbbi ekipmanların bulunması ve standart alan gerekliliklerinin sağlanması zorunludur. Mevcut standartlara göre tek yataklı hasta odaları en az 16 m²; 2 veya daha fazla yataklı odalar ise her bir yatak için 8 m² asgari alana sahip olmak zorundadır (Neufert, 2017). Oda genişlikleri, arkadaki yatağın çıkartılması için önde bulunan yatağın hareket ettirilmemesi prensibine uygun düzenlenmelidir. Hasta banyosunda ise engelli kullanımına uygun duş, lavabo ve klozet bulunmalıdır (Neufert, 2017).

Enerji performansına yönelik mevcut çalışmaların teknik ve malzeme verimliliği üzerinden ilerlediği dikkate alındığında, plan şeması, koridor düzeni ve mekânsal organizasyonun (spatial layout) enerji tüketimi üzerindeki "pasif tasarım" etkilerinin, sayısal verilerle yeterince ilişkilendirilmediği görülmektedir (Cesari, Valdiserri vd., 2018; Yuan vd., 2022).

Hasta odaları; hastanın cinsiyeti, rahatsızlığı, yaşı ve yatak sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Yatak sayısına göre; tek, iki, üç veya daha fazla yataklı odalar düzenlenebilmektedir. Cinsiyete göre yapılan sınıflandırma, birden fazla kullanıcının bulunduğu odalarda konfor ve mahremiyet koşullarını eş zamanlı gözetmeye odaklanmaktadır (Devlin ve Arneill, 2003; Bjørnskov vd., 2022). Yaşa göre yapılan sınıflandırma ise bebek, çocuk ve yetişkin kullanıcıları kapsamaktadır. Hastanın rahatsızlığına göre yapılan ayrımda ise enfeksiyon ve bulaşma riskinin önlenmesi hedeflenmektedir (Calama-González vd., 2019).

Hasta odalarının enerji performansı, sadece oda ölçeğindeki fiziksel bileşenler ile değil, aynı zamanda hastane içindeki yatay ve düşey konumları ile mekânsal organizasyonlarıyla da doğrudan ilişkilidir. Literatürde hasta odalarının yer aldığı plan tipolojileri tek taraflı koridor, çift taraflı koridor, merkezi çekirdekli düzen ve avlulu düzen gibi farklı şemalar altında ele alınmaktadır. Bu tipolojiler, hasta odalarının dış cepheye temas oranını, yüzey alanı/hacim ilişkisini, ısıl etkileşimlerini ve güneş kazançlarını doğrudan belirlemektedir.

Tek taraflı koridor (single-loaded corridor) literatürde, bina morfolojisinin ince ve uzun olmasını sağlayan, hasta odalarının lineer bir dizilimle kurgulandığı şemaya karşılık gelmektedir. Bu koridor düzeninde hasta odalarının dış cepheyle temas oranı artmaktadır. Artan cephe teması, gün ışığı erişimi ve doğal aydınlatma potansiyelini artırmakta, ancak buna paralel olarak ısı kayıplarını ve kazançlarını da artırmaktadır (Deng vd., 2023; Lomas vd., 2012). Koridorun yalnızca bir tarafında hasta odaları yer almakta, diğer taraf ise genellikle servis ve hizmet alanları olarak kullanılmaktadır. Bu mekânsal düzen sayesinde tüm hasta odaları dış cepheye açılmakta ve her odada pencere bulunmaktadır. Doğal aydınlatmadan etkin biçimde yararlanılması, görsel konfor koşullarının görece yüksek olmasını sağlamaktadır. Ancak lineer plan şeması nedeniyle yapı kabuğu alanının artması, enerji kayıplarının yükselmesine neden olabilmektedir (Bakar vd., 2015).

Çift taraflı koridor (double-loaded corridor), hastane binalarında en yaygın kullanılan koridor tipolojilerinden biridir. Bu mekânsal düzende bina daha kompakt bir form sunmakta ve koridorun her iki tarafında hasta odaları konumlanmaktadır (Deng vd., 2023; Miller, 2010). Hasta odalarının karşılıklı olarak yerleştirilmesi, kabukla temas eden yüzey alanını azaltmakta ve ısıl açıdan daha dengeli bir yapı profili oluşturmaktadır. Bu durum, enerji performansı açısından daha kontrollü bir ısıtma ve soğutma yükü dağılımı sağlamaktadır (Bakar vd., 2015). Bununla birlikte, binanın merkezi bölgelerinde doğal aydınlatma yetersiz kalmakta; iç kazançların artması nedeniyle özellikle soğutma yüklerinde artış gözlemlenebilmektedir (Chastain, Mazumdar ve Gane, 2012).

Radyal koridorlu (racetrack or deep plan) şemalarda hasta odaları, iç avlu ya da yarı açık alanlarla ilişkilendirilerek merkezi çekirdek etrafında sıralanmaktadır. İç ortamda kalan servis istasyonları doğal aydınlatmadan yeterli şekilde faydalanamamaktadır ve alan kullanımı verimsizdir. Bu tür düzenlemeler, bina yüzey alanı/ hacim arttırarak ısıtma ve soğutma yüklerini dış çevre koşullarına bağımlı hale getirmektedir (Yang ve Zhang, 2023; Shi, vd., 2021). Literatürde bu tipolojilerin enerji performansı üzerindeki etkilerinin çoğunlukla kavramsal düzeyde tartışıldığı, sayısal ve simülasyon tabanlı karşılaştırmaların yer verilmediği görülmektedir (Deng vd., 2023; Yeom vd., 2020).

Hastane yapılarında enerji performansı, mimari plan şeması ve özellikle koridor tipolojisi ile doğrudan ilişkilidir. Tek taraflı koridor (single-loaded) düzeninde, sirkülasyon alanının bir cephesinde hasta odaları, diğer cephesinde ise genellikle farklı iklimlendirme senaryolarına ve iç yüklerine sahip servis mekanları yer almaktadır. Bu asimetrik kurgu, bitişik zonlar arasındaki sıcaklık farkını artırarak, duvarlar ve sirkülasyon alanı üzerinden gerçekleşen ısı geçişlerini hızlandırmaktadır (Lomas vd., 2012). Buna karşın, çift taraflı koridor (double-loaded) düzeni, koridorun her iki yanında aynı konfor koşullarına sahip hasta odalarının yer alması sayesinde termal bir denge sağlamaktadır (Gane, 2012). Benzer iklimlendirme koşullarına sahip bu hacimler, birbirleri için tampon bölge (buffer zone) görevi görerek zonlar arası ısı transferini minimize etmektedir. Radyal (merkezi) düzen incelendiğinde ise, geometrik formun getirdiği geniş sirkülasyon hacimleri ve farklı konfor gereksinimlerine sahip mekanların tek bir çekirdek etrafında sıralanması, yapının kabuk yüzey alanını ve dolayısıyla ısıl geçirgenliği artırarak enerji korunumunu olumsuz yönde etkilemektedir (Deng vd., 2023; Yeom vd., 2020).

2.6.2. Hasta odalarında aydınlatma, gün ışığı ve enerji etkileşimi

Hasta odalarının aydınlatma tasarımı, görsel konfor gereksinimleri ile enerji verimliliği hedefleri arasında hassas bir denge kurulmasını gerektirmektedir (Bayar, 1994; Öcel, 1988; Özil, 2008). Literatürde, gün ışığına erişimin hasta memnuniyeti ve iyileşme süreci üzerinde olumlu etkiler yarattığı vurgulanmakta; bu nedenle hasta odalarında pencere

tasarımı ve gün ışığı kullanımı temel bir tasarım parametresi olarak ele alınmaktadır (Devlin ve Arneill, 2003; Şengel Çelik, 2022).

Aburumman (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik literatür derlemesi, hasta odalarında pencere tasarımı ile aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tüketimi üzerindeki etkileşimini bütüncül bir çerçevede incelemektedir. Çalışmada, gün ışığına duyarlı aydınlatma kontrol sistemlerinin aydınlatma enerjisini önemli ölçüde azaltabildiği; ancak pencere alanının artırılmasının soğutma yüklerinde artışa neden olabildiği ortaya konulmaktadır (Aburumman, 2025). Bu durum, hasta odalarında enerji performansının yalnızca aydınlatma enerjisi üzerinden değerlendirilmesinin yetersiz olduğunu göstermektedir (Calama-Gonzále vd., 2018). Aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma yüklerindeki değişimlerin birlikte ele alınması gerekmektedir.

Literatürde ayrıca, kullanıcı davranışlarının aydınlatma kontrol sistemlerinin etkinliğini doğrudan etkileyebileceği belirtilmektedir. Hasta ve sağlık personelinin pencere açma–kapama gibi fiziksel müdahaleleri, otomatik kontrol sistemlerinden beklenen enerji tasarrufunu azaltabilmektedir (Balvedi vd., 2018; Chen vd., 2021). Bu nedenle, hasta odalarında enerji verimliliğine yönelik tasarım kararlarının; mekânsal düzen, pencere özellikleri ve kontrol stratejilerinin birlikte ele alındığı entegre yaklaşımlar üzerinden geliştirilmesi gerekmektedir (Calama-González vd., 2018, Du vd., 2020).

Sonuç olarak, hasta odalarının enerji performansı; mekânsal düzen, pencere tasarımı, gün ışığı kullanımı ve aydınlatma kontrol sistemlerinin karşılıklı etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Ancak bu etkileşimi oda ölçeğinde, farklı mekânsal senaryolar ve iklim koşulları altında nicel olarak inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Maria ve Michael, 2020). Bu durum, hasta odalarının mikro ölçekte enerji performansının simülasyon tabanlı yöntemlerle değerlendirilmesini gerekli kılmakta ve bu tez çalışmasının odaklandığı araştırma alanını doğrudan tanımlamaktadır.

2.7. Yapı Kabuğu, Pencere Sistemleri ve Saydamlık Oranı

Yapı kabuğu, iç mekân ile dış mekân arasındaki fiziksel bariyeri oluşturarak iç ortam koşulları ile çevresel etkileşimi düzenlemektedir. Isı kayıpları, güneş kazançları ve gün ışığına erişim, büyük ölçüde yapı kabuğunu oluşturan opak ve şeffaf yüzeylerin özelliklerine bağlı olarak şekillenmektedir (Jiménez Mejía vd., 2020). Bu nedenle yapı kabuğuna ilişkin tasarım kararları, özellikle enerji yoğunluğu yüksek olan hastane binalarında, toplam enerji tüketimini belirleyen kritik faktörler arasında yer almaktadır (Siriwardena vd., 2019). Literatürde yapı kabuğu bağlamında doğal aydınlatma, gün ışığının optimizasyonu ve aydınlatmanın kontrollü kullanımı konularına odaklanılmaktadır (Calama-González vd., 2019). Saydamlık oranı ile yapı malzemelerinin ısıl performans özellikleri, binalarda enerjinin etkin kullanımının değerlendirilmesinde belirleyici parametreler olarak ele alınmakta ve bu değişkenler üzerinden enerji performansı ölçümlenmektedir (Susorova, Tabibzadeh, Rahman, Akhtar ve Berman, 2013).

Yapı kabuğu tasarımı literatürde çoğunlukla ısıtma ve soğutma yükleri üzerinden ele alınmakta, pencere sistemleri ise hem ısıl hem de görsel konfor üzerindeki etkileri nedeniyle ayrı bir inceleme alanı oluşturmaktadır. Şeffaf yüzeylerin yapı kabuğu içindeki oranı ve ısıl özellikleri, enerji performansının yanı sıra iç mekân konfor koşulları üzerinde de belirleyici olmaktadır (Ansari, 2014). Bu nedenle, enerji tüketiminin azaltılmasına ilişkin araştırmalarda binanın iç ve dış ortam koşullarının birlikte değerlendirilmesi beklenmektedir (Ahmed vd., 2023; Alghoul vd., 2017).

Pencere sistemleri, binanın dış ortam ile arasındaki sınırı çizen şeffaf örtüdür ve yapı kabuğunda ısı transferinin en yoğun gerçekleştiği alanlar arasında yer almaktadır (Yıldız vd., 2011; Ansari, 2014). İç ve dış ortam arasında sürekli ısı geçişine izin vermeleri nedeniyle, fiziksel özellikleri ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi üzerinde doğrudan etki göstermektedir (Yuan vd., 2022). Literatürde pencerelerin enerji performansına etkisi; ısı iletim katsayısı (U-değeri), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenliği (VT) gibi temel parametreler üzerinden değerlendirilmektedir (Aburumman, 2025; Bektaş & Aksoy, 2005).

Düşük U-değerine sahip pencere sistemleri, özellikle soğuk ve karasal iklimlerde ısı kayıplarını azaltarak ısıtma enerjisi tüketimini düşürmektedir (Calama-González vd., 2019; Bektaş ve Aksoy, 2005). Buna karşılık SHGC değeri, güneşten gelen ısı kazançlarının iç mekâna ne ölçüde aktarıldığını belirlemekte; bu parametre sıcak ve ılıman iklimlerde soğutma yükleri açısından kritik bir rol oynamaktadır. Gün ışığı geçirgenliği (VT) ise aydınlatma enerjisi tüketimiyle doğrudan ilişkilidir (lwetaishi ve Benjeddou, 2021; Calama-González vd., 2019).

Yapı kabuğu, iç ve dış ortam arasındaki ısı transferini kontrol eden birincil katman olması nedeniyle enerji optimizasyon çalışmalarının merkezinde yer almaktadır. Literatürde Zorita vd. (2016), pencere oranları ve cephe konfigürasyonlarının yıllık enerji tüketimi üzerinde %20–30 aralığında farklılıklar yaratabildiğini istatistiksel olarak ortaya koymuştur. Ancak yapı kabuğuna odaklanan bu ve benzeri çalışmaların büyük çoğunluğu, kullanım senaryoları daha stabil olan konut ve ofis binaları üzerinde yürütülmüştür (Zorita vd., 2016).

Cesari vd. (2018) ile Rahman vd. (2021) gibi araştırmacılar, kabuk performansını cam tipleri ve yalıtım kalınlıkları üzerinden optimize etmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Buna karşın hastane binaları; haftanın yedi günü, günün yirmi dört saati kesintisiz kullanım, yüksek iç ısı kazançları ve enfeksiyon kontrolüne bağlı katı havalandırma gereksinimleri nedeniyle konut ve ofis binalarından belirgin biçimde farklı bir termodinamik davranış sergilemektedir. Bu bağlamda, konut binaları için geliştirilen "minimum pencere alanı" gibi stratejiler, hastanelerde gün ışığının iyileştirici etkisini ve görsel konfor gereksinimlerini göz ardı edebilmektedir (Cesari vd., 2018; Rahman vd., 2021).

Dolayısıyla literatürde konut ve ofis binaları için tanımlanan optimum kabuk parametrelerinin, hastane gibi kompleks ve enerji yoğun yapılara doğrudan aktarılması mümkün değildir. Bu durum, hastane binalarının kabuk performansının; hasta odaları gibi mikro ölçekli ve özelleşmiş mekânlar üzerinden, mekâna özgü konfor koşulları ve işletim parametreleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yuan vd., 2022).

Pencere sistemleri kendi içinde cam tipi, çerçeve tipi, saydamlık oranı ve güneş kontrol elemanları olacak şekilde alt başlıklara ayrılmaktadır (Sayadi vd., 2021). Binanın enerji tüketimi incelenirken bu alt başlıkların iklim, konum ve binanın diğer özellikleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Miller, 2010). İklimsel verilerden, konumdan, yönelimden, yalıtım katmanlarından, formdan ve tipolojiden bağımsız yürütülen çalışmalar binanın enerji tüketimine ilişkin kapsamlı ve detaylı veri üretememektedir (Kheiri, 2013).

Literatürde, pencere sistemlerinin enerji performansı üzerindeki etkisinin bina tipolojisine ve kullanım profiline bağlı olarak değiştiği vurgulanmaktadır (Kheiri, 2013; Cesari vd., 2018; Yuan vd., 2022). Konut ve ofis binalarında yürütülen çok sayıda çalışma, pencere performansının enerji tüketimi üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur (Ahmed vd., 2023; Algburi ve Beyhan, 2019; Gürel ve Daşdemir, 2011; Sciurpi vd., 2015). Buna karşılık, hastane binalarında özellikle hasta odaları ölçeğinde pencere sistemlerinin ısıl ve görsel performansının birlikte değerlendirildiği çalışmaların sayısı sınırlı kalmıştır (Ansari, 2014; Cesari vd., 2018). Literatürde konut ve ofis binaları için tanımlanan optimum WWR oranları ve cam tipleri, hastane gibi 7/24 yaşayan ve yüksek iç yüklere sahip binaların termodinamik karakteristiği ile örtüşmemektedir (Kheiri, 2013; Cesari vd., 2018; Yuan vd., 2022). Bu nedenle, genel yapı kabuğu doğrularının hastane tipolojisi özelinde ve Ankara gibi karasal iklim koşullarında yeniden test edilmesi, literatürdeki tipolojik veri eksikliğini gidermek açısından önemlidir.

2.7.1. Saydamlık oranı (WWR) ve iklim etkileşimi

Saydamlık oranı (Window-to-Wall Ratio, WWR), bir binanın dış kabuğunda yer alan şeffaf yüzeylerin toplam cephe alanına oranını ifade etmektedir. Bu oran, bina enerji performansı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkiler yaratabilen kritik bir tasarım parametresini ifade etmektedir (Sayadi vd., 2021). Literatürde WWR'nin, aydınlatma enerjisi, ısıtma yükleri ve soğutma yükleri arasında bir denge unsuru olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Cesari vd., 2020). Çünkü bina enerji yükleri, tekil bileşenler olarak değil, birbirine bağımlı ve birbiri üzerinde doğrudan etkisi bulunan entegre sistemler bütünü olarak çalışmaktadır (Alghoul vd., 2017).

Literatürde enerji tüketimini optimize etmek amacıyla saydamlık oranlarına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmıştır. Araştırmaların geneli konut binaları özelinde yoğunlaşmaktadır. Hastanelerde saydamlık oranlarının araştırılması konusu ise yeşil hastane kavramı ile gündeme gelmiştir (Cesari vd., 2018). Binanın termal ve görsel konfor koşullarına göre yürütülen çalışmalar, bağımsız bölümlerin konfor koşulları değişkenlik gösterdiği için hasta odası, ameliyathane veya hemşire istasyonu gibi oda bazlı yürütülmektedir (Cesari vd., 2020).

Yapı kabuğundaki %15 saydamlık oranında kısıtlı seviyede gün ışığı iç mekana alınmaktadır ve yapay aydınlatma bağımlılığı yaratmaktadır (Ahmed vd., 2023). %20 saydamlık oranında, gün ışığı dengeli olarak iç mekana alınmaktadır ve aşırı ısınma önlenmektedir (Fiorini vd., 2023). Yaz mevsiminde binanın soğutma enerjisi tüketimi kontrol altında tutulmaktadır (Ahmed vd., 2023; Fiorini vd., 2023). %25 saydamlık oranı yeterli gün ışığı ve doğal havalandırma sağlamaktadır. %30 saydamlık oranı sahip binalarda, iç mekana daha fazla gün ışığı iletilmektedir. Gün ışığı iletiminin artması aşırı ısınma riski oluşturmaktadır (Rahman vd., 2021). %40 saydamlık oranında ise iç mekana yüksek seviyede gün ışığı iletilmektedir (lwetaishi ve Benjeddou, 2021). Gün ışığı iletiminin yüksek olması kış aylarında binaların ısıtma enerjisini azaltmaktadır. Fakat yaz aylarında aşırı ısınma ve enerji tüketimini arttırma riski bulunmaktadır.

Saydamlık oranını arttırmak gün ışığı erişimine de arttırmaktadır ve aydınlatma enerjisini azaltma potansiyeli göstermektedir (Ahmed vd., 2023; Fiorini vd., 2023). Fakat özellikle yaz aylarında aşırı güneş kazançlarına ve artan soğutma yüklerine neden olabilmektedir. Bu nedenle saydamlık oranı dış çevre koşullarına uyumlu olarak belirlenmelidir. Aksi halde sıcak iklim kuşağında bulunan bölgelerde yazın, soğuk iklim kuşağında bulunan bölgelerde ise kışın enerji tüketimini kontrolsüz hale dönüştürmektedir (Tawfeeq ve Qaradaghi, 2024).

Literatürde önerilen optimum saydamlık oranı aralıklarının iklim koşullarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Ilıman ve karasal iklim bölgelerinde, genellikle %20–40 aralığındaki saydamlık oranı değerlerinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi arasında

daha dengeli bir performans sunduğu belirtilmektedir (Calama-González vd., 2019). Ankara gibi karasal iklim özellikleri gösteren bölgelerde, kış aylarında yüksek ısıtma yükleri ile yaz aylarında belirgin güneş kazançlarının aynı anda görülmesi, saydamlık oranı tasarımını ikili bir optimizasyon problemi hâline getirmektedir (Yıldız vd., 2011).

Literatürde saydamlık oranı (WWR) üzerine sayısız çalışma bulunsa da; bu parametrelerin "mekânsal düzen" (örneğin; koridorla tamponlanmış oda vs. doğrudan cepheli oda) ile birlikte, çok değişkenli bir senaryo kurgusu içinde ele alındığı simülasyon tabanlı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu bağlamda WWR'nin sabit bir değer olarak ele alınması yerine, bina türü, mekânsal kullanım ve cephe yönlenmesi ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle hasta odalarında, gün ışığı erişimi ile ısıl konfor gereksinimleri arasındaki denge, WWR kararlarını daha da kritik hâle getirmektedir (Yuan vd., 2022).

2.7.2. Cam tipleri ve enerji performansı

Cam tipleri, pencere sistemlerinin enerji performansını belirleyen en kritik bileşenler arasında yer almaktadır. Tek camlı, çift camlı, low-e kaplamalı ve argon gazı dolgulu cam sistemleri, farklı ısıl ve optik özellikler sunarak binanın enerji davranışını doğrudan etkilemektedir. Çizelge 2.1.'de farklı cam tiplerine ait U değerleri, SCGH ve VT değerleri sunulmuştur. Literatürde, low-e kaplamalı ve argon gazı dolgulu çift cam sistemlerinin düşük U-değerleri sayesinde ısı kayıplarını önemli ölçüde azalttığı ve bu nedenle enerji verimliliği açısından avantaj sağladığı yaygın biçimde kabul edilmektedir (Berardi, 2015; Buratti ve Moretti, 2012; Cesari vd., 2020).

Çizelge 2.1. Cam tiplerinin U, SCGH ve VT değeri *(Veriler lwetaishi ve Benjeddou (2021) ile Somasundaram vd.nden (2020) derlenmiştir)*

Cam tipi	U Değeri (W/M'K)	SHGC	VT
Tek cam	5.818	0.816	0.881
Çift cam	2.730	0.762	0.811
Argon doldurulmuş çift cam	2.568	0.762	0.811
Argon doldurulmuş low-e kaplamalı çift cam	1.135	0.571	0.629

Cam tipinin enerji performansına etkisi; ısı iletim katsayısı (U-değeri), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenliği (VT) üzerinden değerlendirilmektedir (Cesari vd., 2020; Iwetaishi ve Benjeddou, 2021). Düşük SHGC değerine sahip camlar, güneş kazançlarını sınırlayarak soğutma yüklerini azaltabilmekte; ancak bu durum, gün ışığı geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak aydınlatma enerjisi ihtiyacını artırabilmektedir. Bu nedenle cam tipi seçimi, saydamlık oranı ve iklim özellikleriyle birlikte ele alınması gereken çok parametreli bir tasarım problemi oluşturmaktadır (Calama-González vd., 2019).

Mohammad ve Ghosh (2023) tarafından Birleşik Krallık'ta gerçekleştirilen vaka çalışmasında, çift camlı pencere sistemleri ile saydamlık oranının bina enerji performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, saydamlık oranının artırılmasının özellikle güney cephede güneş kazançlarını belirgin biçimde yükselttiğini; buna bağlı olarak aşırı ısınma riskini artırarak toplam soğutma enerjisi tüketiminde artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, pencere sistemlerine ilişkin tasarım kararlarının mahalin konumu ve cephe yönelimine bağlı olarak enerji tüketimi üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, pencere alanı ve cam özelliklerine yönelik optimizasyon yaklaşımlarının cephe yönelimi dikkate alınarak geliştirilmesi gerektiği literatürde açık biçimde vurgulanmaktadır (Mohammad ve Ghosh, 2023).

Literatürde pencere sistemlerine ilişkin olarak cam tipleri, çerçeve malzemeleri, güneş kontrol sistemleri, saydamlık oranı, yönlenme ve kullanıcı davranışı gibi çok sayıda değişken tartışılmaktadır. Cam tipleri; tek cam, çift cam, argon gazı dolgulu cam ve düşük emisyonlu (low-e) kaplamalı cam gibi farklı yalıtım özelliklerine sahip sistemlerden oluşmaktadır. Pencerelerin kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde konumlanmasına bağlı olarak enerji tüketim miktarlarının değiştiği ifade edilmektedir (Ahmed vd., 2023). Karasal iklim bölgelerinde yapılan çalışmalar, güney cephede yer alan mahallerde ısıtma yüklerinin görece düşük, soğutma yüklerinin ise yüksek olduğunu; kuzey cephede yer alan mahallerde ise bunun tersinin geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle pencere sistemlerinin, yalnızca cam performansı üzerinden değil, yönelim ve dikey konum etkileriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Alghoul vd., 2017).

Low-e kaplamalı camlar, yapı kabuğunda güneş radyasyonu ve aşırı ısınmayı sınırlamak amacıyla tercih edilmektedir (Isaia vd., 2021). Gün ışığına karşı filtre görevi gören bu kaplamalar, ışığın iç mekâna daha dengeli biçimde aktarılmasını sağlamaktadır. Ancak güneş ısı kazancı ve doğal aydınlatma düzeyi, kaplamanın optik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Işık geçirgenliğinin aşırı filtrelenmesi bazı durumlarda yetersiz doğal aydınlatmaya yol açabilmektedir (Huang ve Niu, 2015). Literatürde low-e kaplamalı camların ısıl iletkenliği, yoğunluğu ve gün ışığı geçirgenliği üzerine çok sayıda çalışma yürütülmüş; bu çalışmalarda, low-e kaplamaların düşük saydamlık oranına sahip ve soğuk iklim bölgelerinde olumsuz etkiler yaratabileceği, buna karşılık sıcak iklim bölgelerinde soğutma yüklerini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir (Somasundaram vd., 2020).

Literatürde cam tiplerine ilişkin çalışmaların büyük bölümü, daha küçük ölçekli bina tipolojileri üzerinde yoğunlaşmaktadır (Iwetaishi ve Benjeddou, 2021; Sayadi vd., 2021). Hastane binalarında ise, özellikle hasta odaları ölçeğinde cam tiplerinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi üzerindeki eş zamanlı etkilerini inceleyen çalışmalar yetersiz kalmakta; cephe yönelimi çoğu zaman göz ardı edilmektedir (Cesari vd., 2018; Ünalan, 2016). Bu durum, cam tipi değişkeninin hasta odası ölçeğinde ve iklim duyarlı bir yaklaşımla ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Şengel Çelik, 2022; Mohammad ve Ghosh, 2023).

2.8. Literatür Özeti, Araştırma Boşluğu ve Yöntemle İlişki

Bu bölümde sunulan literatür bulguları, bina enerji performansı, kompleks binalar ve hastane yapıları özelinde yürütülen çalışmalar bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmekte; mevcut araştırmaların güçlü yönleri ve sınırlılıkları ortaya konularak bu tez çalışmasının konumlandığı araştırma boşluğu tanımlanmaktadır.

Literatür genel olarak incelendiğinde, bina enerji performansına yönelik çalışmaların önemli bir bölümünün konut ve ofis gibi kullanım profilleri görece sabit ve sınırlı olan bina tipolojilerine odaklandığı görülmektedir (Hashempour vd., 2020). Bu çalışmalarda yapı kabuğu, pencere sistemleri, yönlenme ve HVAC işletimi gibi parametreler çoğunlukla

bireysel başlıklar altında ele alınmış; enerji tüketimini azaltmaya yönelik tasarım ve sistem iyileştirmeleri önerilmiştir (Pérez-Lombard vd., 2008). Buna karşın, sürekli kullanım gereksinimi, yüksek sistem talepleri ve çok işlevli mekânsal organizasyonları nedeniyle enerji tüketimi yüksek olan kompleks binalar literatürde sınırlı düzeyde temsil edilmektedir (Capozzoli vd., 2016).

Kompleks binalar özelinde yapılan çalışmaların önemli bir bölümü, enerji tüketimini sistem verimliliği ekseninde incelemektedir. HVAC sistemleri, ekipman performansı ve otomasyon stratejileri üzerinden enerji tasarrufu potansiyelleri araştırılmaktadır (Hong vd., 2018). Bu çalışmalar, hastane binalarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik önemli teknik katkılar sunmakla birlikte, mekânsal tasarım kararlarını çoğunlukla sabit bir arka plan verisi olarak ele almaktadır (Fraile vd., 2014). Dolayısıyla plan şeması, mekânsal düzen ve zonlama gibi mimari kararların enerji performansı üzerindeki etkileri ikincil düzeyde tartışılmaktadır (Bagnasco vd., 2017).

Yapı kabuğu ve pencere sistemlerine odaklanan çalışmalar ise yalıtım düzeyi, cam tipi, güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve saydamlık oranı (WWR) gibi parametrelerin enerji performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır (Iwetaishi ve Benjeddou, 2021). Ancak bu çalışmalar sıklıkla konut ve ofis binaları üzerinden yürütülmüş; hastane binalarının kendine özgü kesintisiz kullanımı, konfor gereksinimleri ve işlevsel çeşitliliği çoğu zaman göz ardı edilmiştir (Siriwardena vd., 2019). Hastane bağlamında yapılan sınırlı sayıdaki çalışmada ise kabuk parametreleri çoğunlukla bina ölçeğinde değerlendirilmiş; hasta odaları gibi mikro ölçekteki mekânlara yeterince odaklanılmamıştır (Jiménez Mejía vd., 2020).

Mekânsal organizasyonun enerji performansı üzerindeki etkisini ele alan çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır (Gomes vd., 2021). Mevcut araştırmalar, plan şeması, yüzey alanı/hacim oranı ve fonksiyonların dağılımının enerji tüketimini etkileyebileceğini göstermektedir. Ancak bu çalışmaların büyük bölümü ofis ve konut binaları özelinde yürütülmüş; hastane binalarında mekânsal düzen, koridor tipolojileri ve hasta odalarının konumlanmasının enerji tüketimine etkisi sayısal ve simülasyon tabanlı olarak yeterince incelenmemiştir (Lomas vd., 2012; Sayadi vd., 2021).

Hasta odaları özelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu mekânların hastane binaları içinde enerji açısından en hassas birimler arasında yer aldığı görülmektedir (Cesari vd., 2018). Literatürde hasta odalarının ısıl ve görsel konfor koşulları ile hasta iyileşme süreci arasındaki ilişki güçlü biçimde vurgulanmakta; ancak bu konfor gereksinimlerinin enerji tüketimi ile birlikte ele alındığı çalışmalar sınırlı kalmaktadır (Yuan vd., 2022). Özellikle hasta odalarının mekânsal düzeni, pencere sistemleri ve saydamlık oranının; ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi üzerindeki eş zamanlı etkilerini inceleyen, oda ölçeğinde ve iklim duyarlı çalışmalar literatürde yeterince yer almamaktadır (Maria ve Michael, 2020).

Bu değerlendirmeler doğrultusunda literatürde üç temel eksiklik öne çıkmaktadır. Birincisi, yapı kabuğu parametreleri ile mekânsal organizasyonun enerji performansı üzerindeki etkilerinin çoğunlukla ayrı ayrı ele alınmasıdır (Hashempour vd., 2020). İkincisi, hastane binalarında enerji performansının ağırlıklı olarak bina veya sistem ölçeğinde incelenmesi; hasta odaları gibi mikro ölçekteki mekânlara yeterli odaklanmanın bulunmamasıdır (Bagnasco vd., 2017). Üçüncüsü ise, pencere sistemleri, saydamlık oranı ve cam tipi gibi kabuk değişkenlerinin, farklı mekânsal düzen senaryoları altında ve iklim koşullarıyla birlikte değerlendirildiği simülasyon tabanlı çalışmaların sınırlı olmasıdır (Pandey vd., 2021).

Hasta odaları, tüm gün kesintisiz kullanılmaları nedeniyle sürekli olarak ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma gereksinimi duymaktadır (Fifield vd., 2018). Havalandırma yükleri, enfeksiyon kontrolü ve iç hava kalitesi standartları doğrultusunda yüksek tutulmakta; bu durum özellikle ısıtma ve soğutma yüklerinde artışa yol açmaktadır (Kassai, 2019). Aynı zamanda hasta odalarında görsel konforun sağlanması amacıyla gün ışığından yararlanma önemli bir tasarım kriteri olarak öne çıkmaktadır (Bayraç, 2009; Şengel Çelik, 2022). Doğal aydınlatma stratejilerinin, hasta odalarında hem yapay aydınlatma yükünü azalttığı hem de psikolojik iyileşme sürecini olumlu etkilediği literatürde yaygın biçimde kabul edilmektedir (Devlin ve Arneill, 2003). Ancak gün ışığı kazanımının artırılması, enerji performansı açısından dış çevre parametrelerine bağlı olarak çelişkili sonuçlar doğurabilmektedir (Calama-González vd., 2019). Pencere alanının artırılması

aydınlatma enerjisini azaltma potansiyeline sahipken, güneş ısı kazançları nedeniyle soğutma yüklerini artırabilmektedir (Cesari vd., 2018). Bu nedenle hasta odalarında enerji verimliliğinin, konfor koşullarından ödün vermeden çok parametreli bir optimizasyon problemi olarak ele alınması gerekmektedir (Sayadi vd., 2021).

Bu tez çalışması, literatürde tanımlanan bu boşlukları ele alarak hastane binalarında hasta odalarının enerji performansını mikro ölçekte incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, hasta odalarının mekânsal düzeni, saydamlık oranı (WWR) ve cam tipi parametreleri birlikte ele alınmakta; bu değişkenlerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi üzerindeki etkileri iklim duyarlı ve simülasyon tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmektedir. DesignBuilder ve EnergyPlus gibi araçların sunduğu dinamik analiz olanakları, bu çok bileşenli yapının hasta odası mikro ölçeğinde hassas biçimde incelenmesine olanak sağlamaktadır (Ahmed vd., 2017; Tekin vd., 2018).

Bu yönüyle tez, mekânsal tasarım kararlarını enerji performansı göstergeleriyle ilişkilendirerek, hastane binalarında sürdürülebilir ve veri odaklı tasarım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca farklı iklim koşullarının enerji tüketimi üzerindeki etkisini ortaya koyan çalışmaların gösterdiği üzere, dış çevre parametreleri enerji yönetiminde belirleyici rol oynamaktadır (Alotaiby ve Krenyácz, 2023). Bu durum, hasta odalarının enerji performansının değerlendirilmesinde iklim duyarlılığının yöntemsel bir gereklilik olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Özetle, literatürde "mekânsal düzen" ve "yapı kabuğu" parametrelerinin genellikle birbirinden bağımsız çalışıldığı görülmüştür. Bu tez çalışması, koridor tipolojisinin bir "termal tampon", yapı kabuğunun ise bir "filtre" olarak birlikte çalıştığı bütünleşik bir analiz modeli sunarak; hastane tasarımında mimari kararların enerji performansına olan etkisini somutlaştırmayı amaçlamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

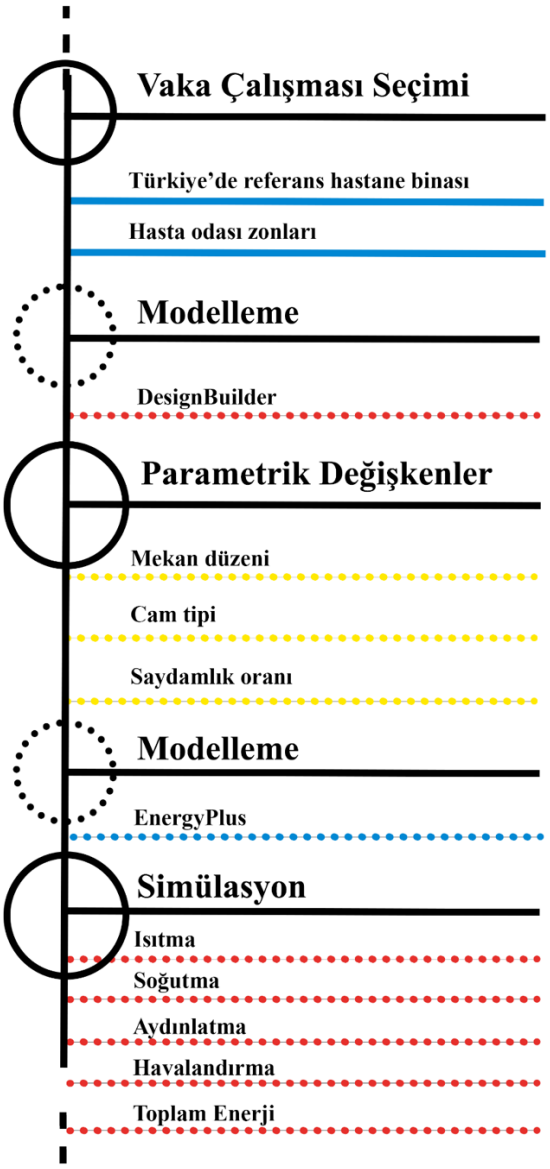
Bu tez çalışmasında, hastane binalarında enerji tüketiminin optimizasyonu amacıyla mekânsal düzenin enerji performansı üzerindeki nicel etkileri, simülasyon tabanlı parametrik bir yöntem benimsenerek analiz edilmektedir. Araştırmanın ilk aşamasında mevcut literatür kapsamlı biçimde incelenmiş; hastane binalarında mekânsal düzenin, saydamlık oranı ve cam tipi parametreleriyle birlikte bütüncül olarak ele alınmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda çalışma, mekânsal organizasyon ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin nicel olarak değerlendirilmesine ilişkin yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Araştırmada, literatürde yaygın olarak kullanılan bina performansı simülasyonu (BPS) yaklaşımı temel alınmış ve kontrollü bir simülasyon kurgusu oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, farklı koridor tipolojilerinin hasta odalarına ait ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve toplam enerji yükleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, referans bir hastane binası seçilmiş ve parametrik simülasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Üç farklı koridor tipolojisinin, farklı yapı kabuğu senaryoları altında sergilediği enerji davranışları nicel yöntemlerle incelenmiştir. Kompleks binalardaki enerji tüketimi, kullanıcı davranışı ve operasyonel belirsizliklerden etkilendiği için; mimari parametrelerin saf etkisini ölçebilmek adına kontrollü bir deney ortamı kurgulanmıştır. Çalışma, iklim, işletme senaryosu ve iç yüklerin sabit tutulduğu, sadece hedeflenen mimari parametrelerin değiştirildiği karşılaştırmalı bir analiz modeline dayanmaktadır.

Yöntem kurgusu Şekil 3.1.'de sunulmuştur ve üç temel aşamadan oluşmaktadır:

- **Referans hastane binasının seçilmesi:** Bu aşamada bina geometrisi, işlevsel dağılım, zonlama, malzeme katmanları, HVAC sistemi ve işletim profilleri tanımlanmıştır.
- **Parametrik senaryoların oluşturulması**: Oda tipi, saydamlık oranı (WWR: %20, %40, %60) ve cam tipi (farklı U-değeri ve SHGC kombinasyonlarına sahip A ve B camları) sistematik bir parametrik senaryo seti oluşturulmuştur.

- **Enerji performansının analizi ve karşılaştırılması:** Isıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, toplam enerji tüketimi, güneş kazancı ve infiltrasyon çıktıları değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1. Yöntem kurgusu

Çalışmanın ilk aşamasında, literatürde yer alan veriler doğrultusunda orta ölçekli bir hastane referans bina olarak belirlenmiştir. Seçilen hastane binası, tip bir plan şemasına sahip olması nedeniyle çalışmanın bütününü temsil edebilecek nitelikte değerlendirilmiştir. İklimsel özelliklerin bina enerji performansı üzerindeki etkisini izlemek amacıyla

Türkiye'de yer alan Ankara ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. Ankara, Köppen–Geiger iklim sınıflandırmasına göre soğuk yarı kurak/karasal iklim özellikleri göstermekte olup, ısıtma enerjisi ihtiyacının baskın olduğu bölgeleri temsil etmektedir. Bununla birlikte, karasal iklimin karakteristik özelliği olan yüksek günlük ve mevsimsel sıcaklık salınımları nedeniyle yaz döneminde soğutma yükleri de belirgin biçimde artmaktadır. Bu yönüyle Ankara iklimi, hastane binalarında mekânsal düzenin hem ısıtma hem de soğutma yükleri üzerindeki etkilerinin birlikte ve karşılaştırılabilir biçimde gözlemlenmesine olanak sağlamaktadır. İklim profili tüm simülasyon senaryoları için sabit tutulmuş; dış çevre koşullarındaki değişkenlik yalnızca test edilen tasarım ve yapı kabuğu parametreleri üzerinden izlenmiştir.

Bu kapsamda, mekânsal organizasyonun ve yapı kabuğu değişkenlerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini kontrollü ve karşılaştırılabilir koşullar altında incelemek amacıyla dinamik simülasyon yöntemi tercih edilmiştir. Hastanenin mevcut durumu modellenerek binanın aydınlatma, ısıtma, soğutma ve yıllık toplam enerji tüketimine ilişkin veriler hesaplanmıştır. Literatürde yapı kabuğu özellikleri ile mekân düzeninin hem ısı kayıpları hem de güneş kazançları üzerinde doğrudan etkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda çalışmada, mekânsal konumun enerji performansı üzerindeki etkisi; hasta odalarının dış cepheyle ilişkisi, dikey konumu, koridor tipolojisi ve tampon alanlarla olan bağlantıları üzerinden değerlendirilmiştir. Yapı kabuğu etkisi ise saydamlık oranı ve cam tipi parametreleri aracılığıyla izlenmiştir.

Simülasyon tabanlı yazılımlar kullanılarak hastane binasının enerji tüketimi parametrik olarak hesaplanmış; ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri açısından en dengeli kurgunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda ilk aşamada pencere sistemlerinin hastane binasının enerji tüketimi üzerindeki etkisi bina ölçeğinde değerlendirilmiş, ardından analiz hasta odası ölçeğine indirgenerek veriler derinleştirilmiştir. Bu çok ölçekli yaklaşım sonucunda, referans hastane binası için optimum yapı kabuğu tasarımı ve mekânsal düzen belirlenmiştir.

Bu çalışma, hastane binalarında enerji performansını ele alan mevcut simülasyon çalışmalarından farklı olarak, analizi bina ölçeğinden hasta odası ölçeğine indirgemekte ve enerji tüketimini doğrudan mekânsal organizasyon kararlarıyla ilişkilendirmektedir. Literatürde hastane binalarına yönelik enerji analizleri çoğunlukla tüm bina veya kat ölçeğinde yürütülmekte; hasta odalarının konumu, koridor tipolojisi ve cepheyle kurduğu ilişkinin enerji tüketimine olan etkisi ikincil düzeyde ele alınmaktadır. Bu çalışmada ise hasta odaları bağımsız termal zonlar olarak tanımlanmış ve mekânsal düzenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi nicel ve karşılaştırmalı biçimde ortaya konulmuştur.

Saydamlık oranı ve cam tipi gibi yapı kabuğu parametreleri, aynı mekânsal tipoloji altında izole edilerek değerlendirilmiştir. Bu sayede enerji tüketimindeki değişimler, geometrik farklılıklardan veya kullanım senaryolarından bağımsız olarak doğrudan tasarım parametrelerine bağlanabilmiştir. Oluşturulan parametrik senaryo kurgusu, yalnızca enerji performanslarının karşılaştırılmasını sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda hasta odaları için optimum saydamlık oranı ve cam tipi kombinasyonlarının belirlenmesine yönelik tasarım odaklı bir karar destek mekanizması sunmaktadır.

Bu bağlamda bina performans simülasyonları, yalnızca bir analiz aracı olarak değil, tasarım sürecini yönlendiren analitik bir araç olarak ele alınmaktadır. Hasta odası ölçeğinde geliştirilen enerji etkin tasarım stratejileri, erken tasarım aşamasında alınan mekânsal ve yapı kabuğuna ilişkin kararların enerji tüketimi üzerindeki belirleyici rolünü açık biçimde ortaya koymakta ve literatürde tanımlanan önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Çalışmada hastane binası DesignBuilder yazılımı kullanılarak modellenmiş, enerji tüketimine ilişkin simülasyonlar ise EnergyPlus motoru aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon senaryolarında çevresel faktörler sabit tutulmuş; farklı mekânsal tipolojilere sahip hasta odalarının ve yapı kabuğu özelliklerinin enerji performansı parametrik olarak analiz edilmiştir.

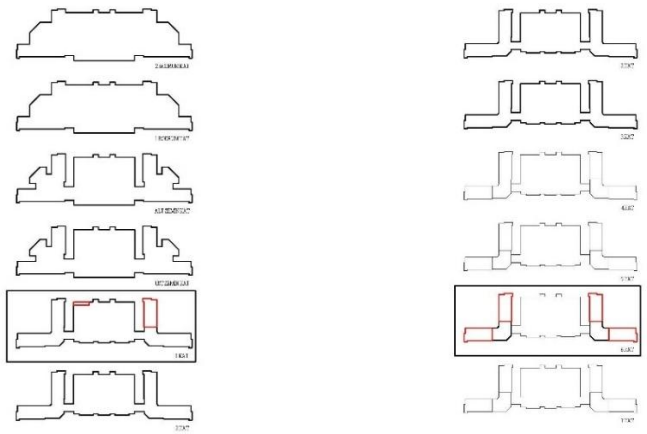
3.1. Vaka Çalışması: Referans Hastane Binasının Belirlenmesi

Türkiye sağlık yapısı stoğundaki baskın mimari eğilimleri temsil etme kabiliyeti yüksek, kompleks bina niteliğine sahip bir kamu hastanesi referans alınmıştır. Analizler, tüm binanın enerji modellemesi üzerinden kurgulanmış; ancak literatürde tanımlanan boşluğu hedeflemek amacıyla değerlendirmeler hasta odası ölçeğinde ayrıntılandırılmıştır.

3.1.1. Referans hastane binasının özellikleri

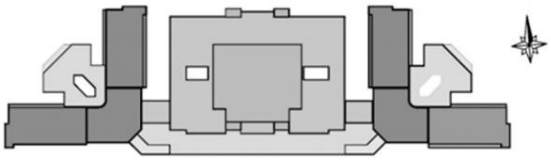
Çalışma kapsamında incelenen bina, Ankara ilinde konumlanan, toplam 150.000 m² kapalı inşaat alanına ve 510 yatak kapasitesine sahip kompleks bir hastanedir (Şekil 3.2). Bina, iki bodrum, iki zemin ve yedi normal kat olmak üzere toplam 11 kattan oluşmaktadır. Bu binanın vaka çalışması olarak seçilmesinin temel gerekçeleri şunlardır:

- **Ölçek ve karmaşıklık:** 15 ameliyathane ve 79 yoğun bakım ünitesini barındıran bu yapı, yüksek enerji yoğunluğuna (EUI) sahip büyük ölçekli hastane tipolojisini temsil etmektedir. Literatürde Kılkış (2014) ve Kim (2020), enerji optimizasyonunun en kritik olduğu yapıların bu ölçekteki kompleks binalar olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 3.2. Hastane binasının kat planları diyagramı

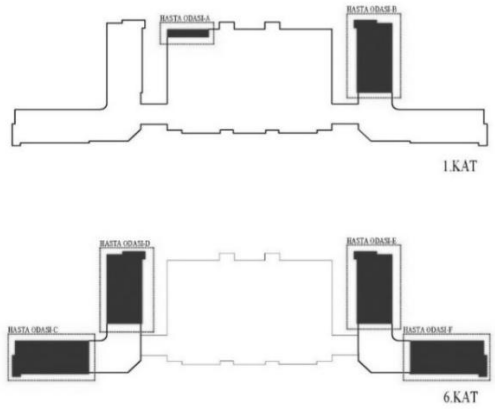
- **Tipolojik çeşitlilik:** Bina formu, tek bir kütle yerine farklı yönelimlere (Kuzey-Güney, Doğu-Batı) uzanan kollar ve farklı koridor şemalarını (tek, çift, radyal) içeren hibrit bir geometriye sahiptir. Bu morfolojik çeşitlilik, mekânsal düzenin enerjiye etkisini tek bir bina üzerinde karşılaştırmalı olarak analiz etme imkanı tanımaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Referans hastane binasının anahtar planı

3.1.2. Referans hasta odalarının özellikleri

Enerji performans analizlerinde, sonuçların genellenebilir olması için tipolojik özellikleri temsil eden kuramsal bir referans bina modeli oluşturulmuştur. Bu model, hastane mimarisinde en sık karşılaşılan koridor tipolojilerini (tek, çift ve radyal düzen) ve farklı yönelimlere sahip hasta odası geometrilerini tek bir kütle üzerinde barındıracak şekilde kurgulanmıştır. Böylece, farklı binaları kıyaslamak yerine, aynı binanın farklı zonlarındaki performans farkları izole edilerek analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, her biri bünyesinde özel banyo ve tuvalet barındıran tek kişilik yataklı hasta odaları ele alınmıştır. Çalışma için; yatay-dikey konum, plan şeması, yönelim ve cephe yüzey alanları açısından farklılaşan altı adet hasta odası birimi belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Hastane binasında seçilen hasta odası birimlerinin diyagramı

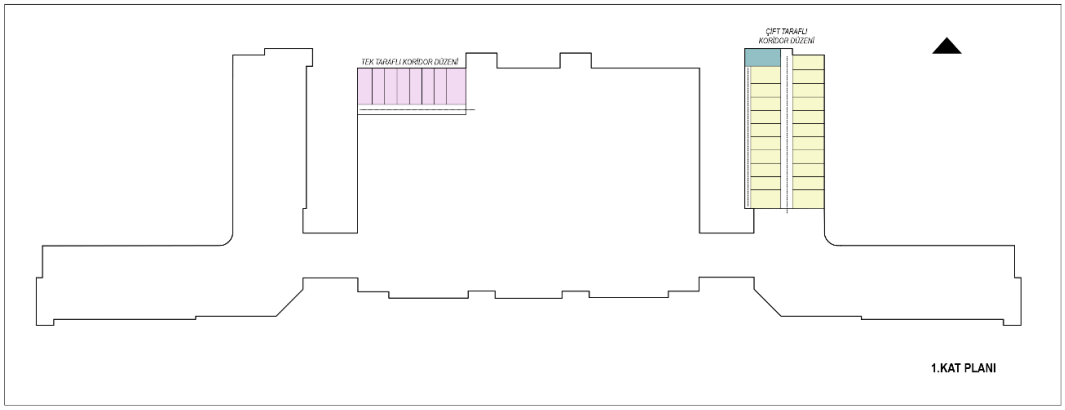
Yapı kabuğunun ısıl performansına etki eden faktörlerin bütüncül bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla, örneklem seçiminde kat düzlemleri belirleyici olmuştur. Zemin etkisinin analizi için 1. Kat, çatı etkisinin gözlemlenmesi için ise 6. Kat çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.4). Bu doğrultuda oda dağılımı şu şekildedir:

- 1.Kat (Zemin Etkisi): Hasta Odası-A ve Hasta Odası-B.
- 6. Kat (Çatı Etkisi): Hasta Odası-C, Hasta Odası-D, Hasta Odası-E ve Hasta Odası-F.

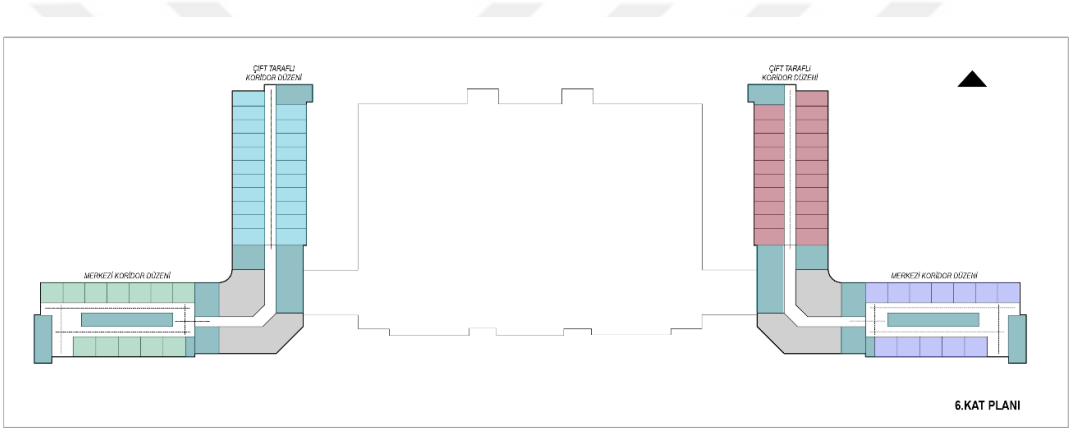
Çalışmada, koridor tipolojileri ve mekânsal kurgu bağlamında, model hastane binasındaki hasta odaları; enerji performansını doğrudan etkileyen dış duvar temas oranı, tampon bölge ilişkileri ve yönelim niteliklerini belirleyen üç farklı koridor tipolojisine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Bu doğrultuda çalışma, koridor düzeni değişkeni üzerinden birim metrekare başına düşen net enerji tüketimini hesaplayarak, enerji açısından optimum mekânsal kurgunun belirlenmesini amaçlamaktadır.

İncelenen koridor düzenleri şunlardır:

- **Tek Taraflı Koridor:** (Hasta Odası-A)
- **Çift Taraflı Koridor:** (Hasta Odası-B, D ve E)
- **Radyal Düzen:** (Hasta Odası-C ve F)



Şekil 3.5. Birinci Kat planı ve koridor düzeni

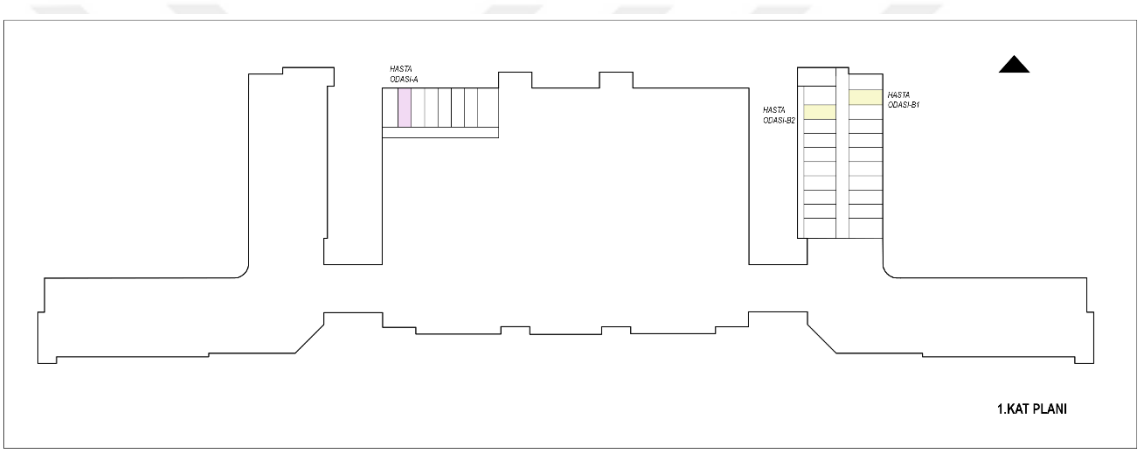


Şekil 3.6. Altıncı Kat planı ve koridor düzeni

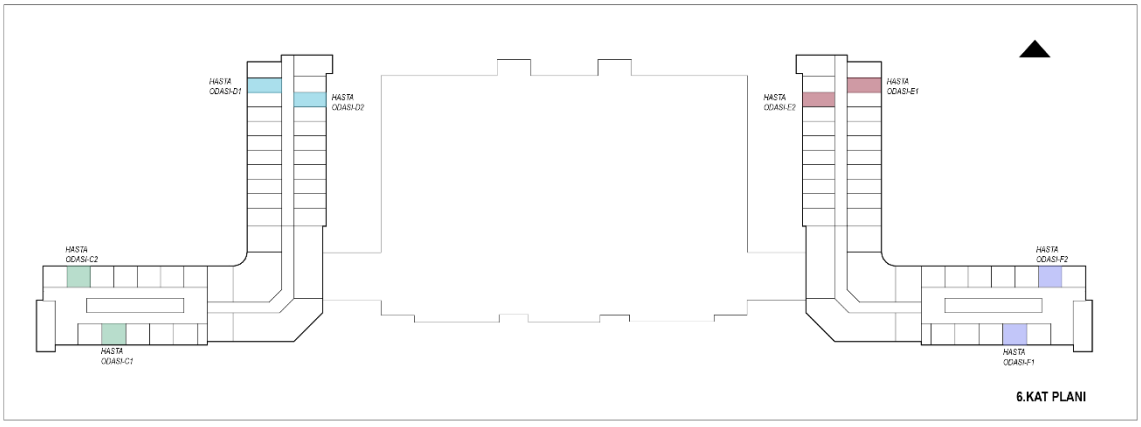
Çalışma kapsamında, hasta odası birimlerinin karakteristik özelliklerini ortaya koymak amacıyla alanı, yönelimi ve mekân dizilimi birbirinden farklı olan altı hasta odası birimi belirlenmiştir. Hasta odalarının kat, yönelim ve koridor düzenine bağlı detaylı özellikleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Analiz süreci, odaların cephe yönelimlerine göre (Kuzey, Güney, Doğu ve Batı) alt gruplara ayrılmasıyla detaylandırılmıştır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Bu doğrultuda Hasta Odası-A, 1. katta ve kuzey cephe yöneliminde konumlanmaktadır. Hasta Odası-B, 1. katta yer almakta olup doğu–batı cephe yönelimine sahiptir. Hasta Odası-C ve Hasta Odası-F, 6. katta konumlanmış ve kuzey–güney yönelimi göstermektedir. Hasta Odası-D ve Hasta Odası-E ise 6. katta yer almakta olup doğu–batı cephede konumlanmaktadır.

Çizelge 3.1. Hasta odası birimleri

Hasta Odası Adı	**Kat Adı**	**Yönelim**	**Koridor Tipi**
Hasta Odası- A	1.Kat	Kuzey	Tek Taraflı Koridor
Hasta Odası-B1	1.Kat	Doğu	Çift Taraflı Koridor
Hasta Odası-B2	1.Kat	Batı	Çift Taraflı Koridor
Hasta Odası-C1	6.Kat	Kuzey	Merkezi Düzen / Küme
Hasta Odası-C2	6.Kat	Güney	Merkezi Düzen / Küme
Hasta Odası-D1	6.Kat	Batı	Çift Taraflı Koridor
Hasta Odası-D2	6.Kat	Doğu	Çift Taraflı Koridor
Hasta Odası-E1	6.Kat	Kuzey	Merkezi Düzen / Küme
Hasta Odası-E2	6.Kat	Güney	Merkezi Düzen / Küme
Hasta Odası-F1	6.Kat	Batı	Çift Taraflı Koridor
Hasta Odası-F2	6.Kat	Doğu	Çift Taraflı Koridor

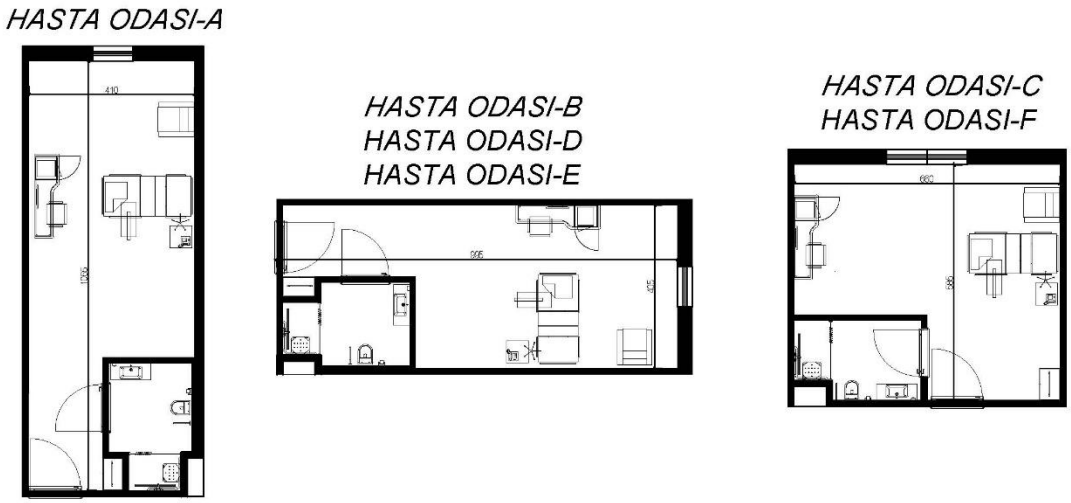


Şekil 3.7. Birinci Kat hasta odaları yerleşimi



Şekil 3.8. Altıncı Kat hasta odaları yerleşimi

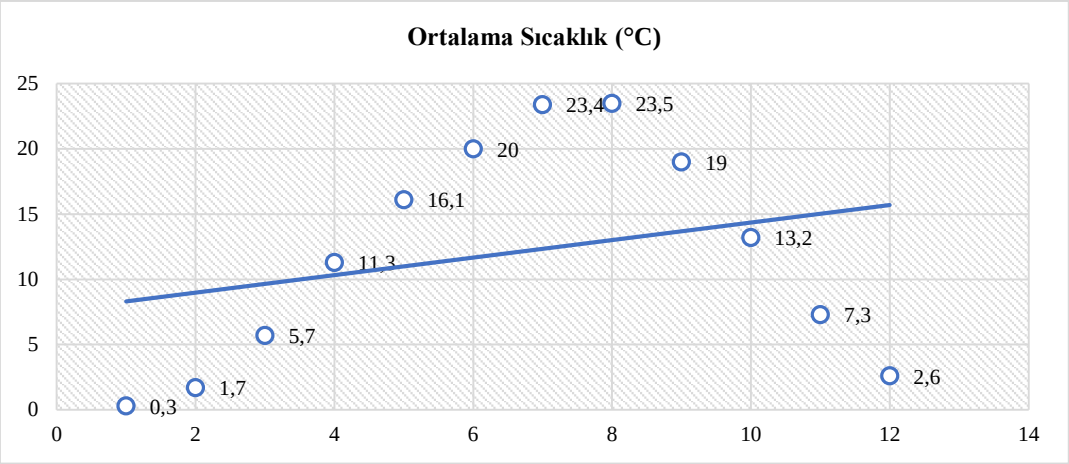
Hasta odalarının koridor düzeninin enerji üzerindeki etkisi nicel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı tipte koridor düzenine sahip altı hasta odasının enerji tüketimi metrekare başına düşen net enerjiye göre karşılaştırılmıştır. Şekil 3.9'da hasta odalarının mekânsal düzeni aktarılmaktadır. Radyal düzene sahip Hasta Odası C ve F'nin cephe yüzey alanı/hacim oranı ilişkisi diğer oda tiplerine göre daha yüksektir.



Şekil 3.9. Hasta odası tip planları

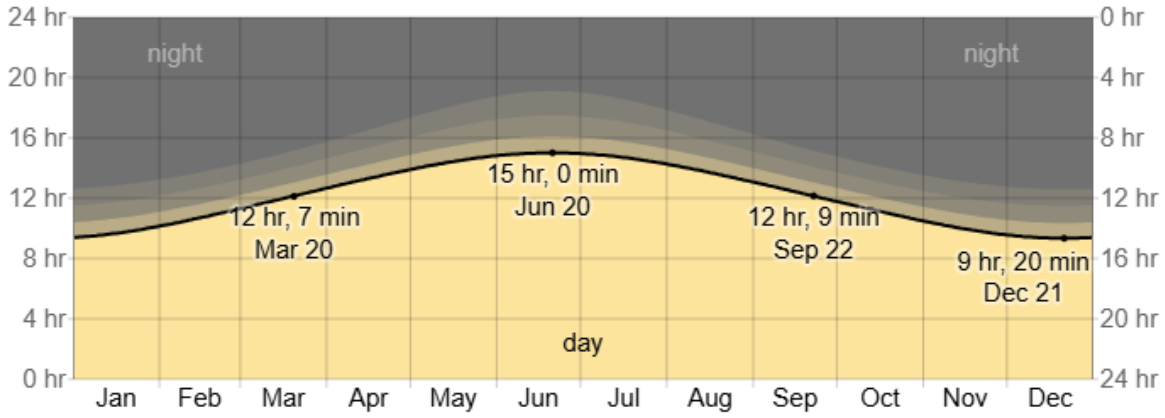
3.1.3. Çalışma alanının ve iklim verilerinin belirlenmesi

Çalışma alanı olarak; 39°55′38″ Kuzey enlemi ve 32°51′52″ Doğu boylamları arasında yer alan Ankara ili belirlenmiştir. Ankara ilinin seçilmesinin temel nedeni, bölgenin Köppen–Geiger iklim sınıflandırma sistemine göre "Soğuk Yarı Kurak / Karasal" (BSk) iklim özellikleri göstermesidir (Peel vd., 2007). Ankara, yazın yüksek soğutma yükü, kışın ise yüksek ısıtma yükü gerektiren, ayrıca gece-gündüz sıcaklık farklarının (diurnal swing) belirgin olduğu zorlu bir termal profile sahiptir (MGM, 2024). Bu iklim tipi, mimari kabuğun hem ısı korunumu hem de güneş kontrolü açısından sınırlarını zorlamakta, dolayısıyla optimizasyon çalışması için ideal bir test ortamı sunmaktadır. Ayrıca bölgede çok sayıda kamu ve özel hastane bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Ankara ili aylara göre ortalama sıcaklık verisi (WeatherSpark.com, 2023)

Bu iklim kuşağı; kış aylarında düşük dış ortam sıcaklıklarına bağlı yüksek ısıtma yükleri, yaz aylarında ise artan soğutma yükleri ile karakterize edilen çift yönlü bir enerji yönetimini zorunlu kılmaktadır (MGM, 2024). Isıtma ve soğutma ihtiyacının mevsimsel olarak belirginleştiği bu dinamik yapı, cam tipi, yönelim ve cephe kararları gibi pasif tasarım stratejilerinin sınırlarının test edilmesi için zorlayıcı ve ideal bir senaryo sunmaktadır (Özel, 2011). Ankara iline ait aylık ortalama sıcaklık verileri Şekil 3.10'da, gece-gündüz sürelerine ilişkin değişim grafiği ise Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Ankara iline ait gece-gündüz saatleri (WeatherSpark.com, 2023)

Karasal iklimin getirdiği düşük kış sıcaklıkları, ısıtma yükünü binanın toplam enerji tüketimi içerisinde baskın bir parametre haline getirmektedir (Deng vd., 2023; Er, 2020). Isıl yüklerin yanı sıra, kış döneminde güneşli gün sayısı ve ortalama güneşlenme süresinde de azalma görülmektedir. Bu durum, özellikle Kasım, Aralık ve Ocak aylarında doğal ışıktan yararlanma potansiyelini düşürerek yapay aydınlatma ihtiyacını ve buna bağlı enerji tüketimini artırmaktadır.

Çalışma kapsamında ısıtma, soğutma ve aydınlatma performansının bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, Ankara ilinin aylık ortalama güneşlenme süreleri Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Ankara ilinin ortalama güneşlenme süreleri (MGM, 2024)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,6	3,8	5	6,4	8,2	9,8	11,1	10,6	9,1	6,7	4,6	2,6

Enerji analizlerinin gerçekleştirildiği simülasyonlarda, Ankara ilinin iklimsel koşullarını temsil etmek üzere IWEC (International Weather for Energy Calculations) türetilmiş standart meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, uzun yıllara dayanan atmosferik verilerin istatistiksel bir sentezi olup, bina enerji performansı hesaplamalarında referans kabul edilmektedir.

3.1.4. Yapı kabuğu ve termofiziksel özellikler

Simülasyon senaryolarının tamamında, mekânsal organizasyon ve koridor düzeninden kaynaklanan enerji performansı farklarını izole edebilmek amacıyla yapı kabuğu özellikleri sabit tutulmuştur. Yapı bileşenleri; TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına ve literatürde hastane binaları için önerilen referans değerlere uygun olarak tanımlanmıştır. Duvar, döşeme, çatı ve pencere bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) tüm varyasyonlarda eşit olacak şekilde modellenmiştir.

Bina, taşıyıcı sistemi betonarme karkas olacak şekilde kurgulanmış ve simülasyon modeline bu yapısal özelliklerle aktarılmıştır. Yapı elemanlarını oluşturan katmanlar ve malzeme detayları aşağıda özetlendiği gibidir:

- Döşeme: 15 cm betonarme plak, 7 cm şap ve seramik kaplama katmanlarından oluşmaktadır.
- Çatı: Gezilemeyen teras çatı olarak tasarlanmış olup; 15 cm betonarme plak, fiber levha (ısı yalıtımı), su yalıtım örtüsü ve asfalt bazlı kaplama katmanları ile modellenmiştir.
- Duvarlar: Dış ve iç duvar katman detayları Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Hastane binasının malzeme katmanları

Bina Elemanı	Malzeme
Dış Duvar	Çimento Harcı
	Beton
	Alçı+ Boya
Bölücü Duvar	Alçı+ Boya
	Gaz Beton
	Çimento Harcı
	Alçı+ Boya
Döşeme	Seramik Kaplama
	Çimento Harcı
	Beton

Bina enerji modelinde yapay aydınlatma sistemi için yüksek enerji verimliliğine sahip LED armatürler tercih edilmiştir. Hasta odalarındaki aydınlık düzeyi, literatürde kabul gören standartlar doğrultusunda 300 lux olarak belirlenmiştir. İklimlendirme sistemi olarak HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemi seçilmiştir. İç kazanç yüklerinin hesaplanmasında, hasta odalarında bulunması muhtemel televizyon ve buzdolabı gibi elektronik ekipmanların kapalı olduğu (ekipman yükünün olmadığı) varsayımı kabul edilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan doluluk oranları, metabolik aktiviteler ve termostat ayar noktaları DesignBuilder yazılımı kütüphanesinde yer alan "Yataklı Hasta Odası" standart veri şablonlarından faydalanılarak oluşturulmuştur. İklimlendirme kontrol stratejisi; iç ortam sıcaklığı 22°C'nin altına düştüğünde ısıtma sisteminin, 25°C'nin üzerine çıktığında ise soğutma sisteminin devreye gireceği şekilde konfigüre edilmiştir. Kullanıcı profili ve işletim senaryosuna ait detaylı veriler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bina kullanım verisi

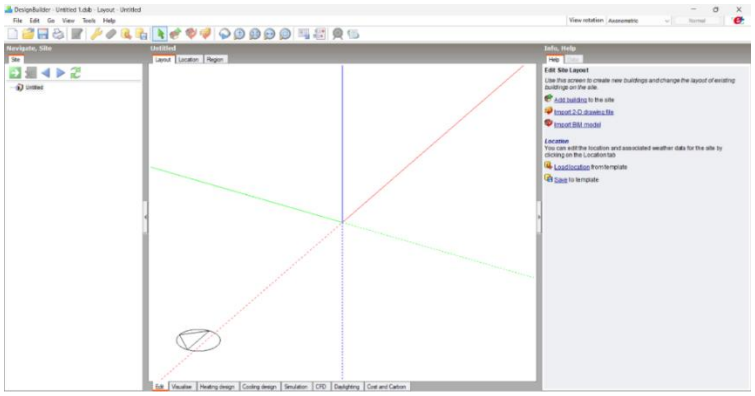
Parametre	Açıklama
Mahal	Yataklı Hasta Odası
Çalışma Süresi	7/24
Aktivite	Ayakta Durma ve Yürüme
Metabolik Oran- Erkek	1,00
Metabolik Oran- Kadın	0,85
Metabolik Oran- Çocuk	0,75
Kullanıcı Yoğunluğu	0,1047
Kıyafet Yaz	0,50
Kıyafet Kış	1,00
Isıtma Ayar Noktası	22
Soğutma Ayar Noktası	25

3.2. Modelleme ve Parametrik Değişkenler

Bu çalışmada, bina enerji performansının hesaplanması ve parametrik analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla DesignBuilder ve EnergyPlus hesaplama motoru kullanılmıştır. EnergyPlus, ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından geliştirilen ve BESTEST/ASHRAE Standard 140 ile valide edilmiş bir motordur. Bu seçim, çalışmanın sadece statik bir ısı kaybı hesabı (U-değeri hesabı) yapmayıp; termal kütle, solar radyasyon, gölgeleme ve saatlik hava durumu verilerini işleyen dinamik bir süreç yürüttüğünü garanti altına almaktadır. Simülasyon araçları, binaların enerji tüketimlerinin sanal ortamda ölçülmesine ve tasarım/uygulama aşamalarında iyileştirme kararlarının alınmasına olanak sağlamaktadır.

3.2.1. DesignBuilder ve EnergyPlus entegrasyonu

Modelleme aracı olarak; literatürde yaygın kabul görmesi, gelişmiş arayüzü ve veri güvenilirliği nedeniyle DesignBuilder tercih edilmiştir. Yazılım, Amerika Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından geliştirilen ve endüstri standardı olarak kabul edilen EnergyPlus simülasyon motoru ile entegre çalışmaktadır. Şekil 3.12'de DesignBuilder programının arayüzü aktarılmıştır.



Şekil 3.12. DesignBuilder programının arayüzü

DesignBuilder, AutoCAD gibi CAD tabanlı yazılımlarla uyumlu çalışarak 2 boyutlu mimari çizimlerin (plan, kesit, görünüş) 3 boyutlu parametrik modellere dönüştürülmesini sağlar. Yazılımın kütüphanesinde yer alan kapsamlı veri setleri sayesinde; yapı elemanlarına (duvar, döşeme, çatı, pencere) malzeme atamaları yapılabilmekte, ısıtma, soğutma, havalandırma (HVAC) ve aydınlatma sistemleri detaylı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Şekil 3.13'te DesignBuilder programında yapılan tanımlamalarla ilgili ekran görüntüsü paylaşılmıştır.



Şekil 3.13. Design Builder programında mekan işlevlerinin tanımlanması

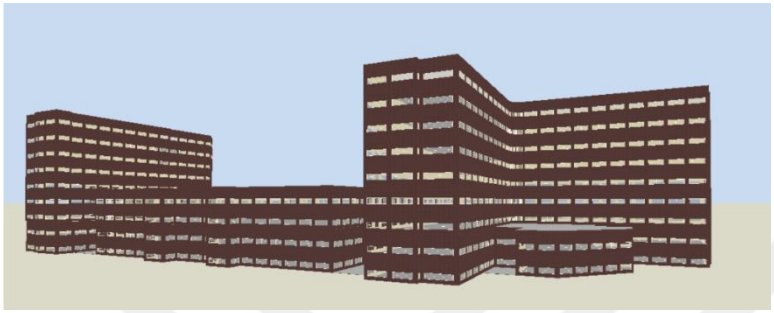
Simülasyon sürecinde EnergyPlus motoru kullanılarak;

- Aylık ve yıllık enerji tüketim analizleri,
- Zon bazlı hassas ısıtma ve soğutma yükü hesaplamaları,
- Gün ışığı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler, dışa aktarılarak karşılaştırmalı grafik ve tablolar oluşturulmuştur.

3.2.2. Hastane binası modelinin oluşturulması ve kabuller

Hastane binasının üç boyutlu modeli, mevcut mimari projeler referans alınarak DesignBuilder ortamında oluşturulmuştur. Şekil 3.14'te hastane binasının üç boyutlu model görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 3.14. Hastane binasının üç boyutlu model görüntüsü

Modelin geometrik sınırları ve fiziksel özellikleri belirlenirken aşağıdaki parametreler esas alınmıştır:

- Geometrik Modelleme: Hastane binası, proje verilerine sadık kalınarak 2 Bodrum + 2 Zemin + 7 Normal Kat olmak üzere toplam 11 katlı olarak modellenmiştir. Kat yüksekliği sabit 6 metre kabul edilmiştir. Asma tavan kaplamaları, havalandırma boşlukları, şaftlar ve bacalar hesaplama yükünü optimize etmek adına modelleme sürecinde yok sayılmıştır. Çizelge 3.5'de hastane binasının genel künye bilgileri sunulmuştur.
- Mekânsal Detaylar: Analize konu olan hasta odası birimlerinin kapı ve iç duvarları hassas ölçümlerle modele işlenmiştir. Ancak, simülasyon kapsamı dışında kalan diğer hastane mahallerinin (koridorlar, servis alanları vb.) yalnızca dış duvarları ve pencereleri modellenmiş, iç bölüntüleri ihmal edilmiştir.
- Çevresel Faktörler: Bina çevresindeki diğer yapı stokları ve peyzaj elemanları, gölgeleme etkisinin olmadığı varsayımıyla modele dahil edilmemiştir.
- Tefrişat: Hareketli mobilya ve tefriş elemanları, termal kütleye etkilerinin sınırlı olması ve yazılım kısıtları nedeniyle modelde yer almamıştır.

Çizelge 3.5. Model hastane binasının genel künye bilgileri

Parametre	**Özellik**
Bina Tipoloji	Hastane Binası
Şehir	Ankara/Türkiye
Koordinatlar	39° 55′ 38″ K, 32° 51′ 52″ D
Bina Kat Adedi	2B + 2Z + 7K

3.2.3. Sınır koşulları ve işletim senaryoları

Simülasyonların tutarlılığı ve karşılaştırılabilirliği açısından tüm senaryolarda sabit tutulan sınır koşulları ve işletim parametreleri şunlardır:

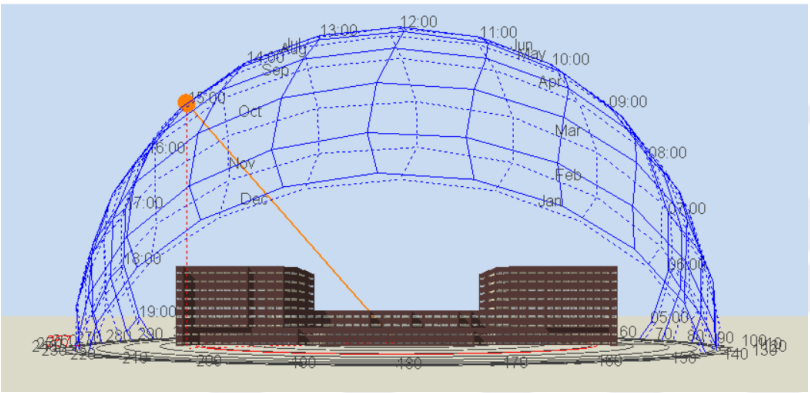
- Zaman Aralığı: Enerji tüketim analizleri, 1 yıl (365 gün) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, doğal aydınlatma ve gölgeleme etkilerinin gözlemlenmesi için gece ve gündüz sürelerinin eşit olduğu 21 Mart (İlkbahar Ekinoksu) ve 23 Eylül (Sonbahar Ekinoksu) tarihleri referans kontrol günleri olarak dikkate alınmıştır.
- Kullanım Profili: Yataklı hasta odaları için kullanım süresi 7 gün 24 saat olarak belirlenmiş, kullanıcı verisi değişmediği için sıcak su kullanımının tüm odalarda eşit olduğu kabul edilmiştir.
- İklim Verileri: Ankara iline ait EnergyPlus (EPW) standart iklim veri seti kullanılmıştır.
- Zonlama Stratejisi: Mekânlar termal zonlara ayrılmış; hasta odaları ve koridorlar, farklı kullanım profillerine ve iç kazanç yüklerine sahip oldukları için ayrı zonlar olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.6'da binanın konfor sınır koşulları aktarılmıştır.

Çizelge 3.6. Hastane binası model parametreleri ve konfor sınır koşulları

Isıtma değeri	22°C
Soğutma değeri	25°C
Maksimum bağıl nem	%60
Havalandırma (ACH)	2.5 h^{-1}
EnergyPlus infiltrasyonu	Flow/ExteriorWallArea modeli
Aydınlatma	300 lux
Ekipman	4 W/m^2
Kişi başı ısı yükü	75 W (latent+sensibel)

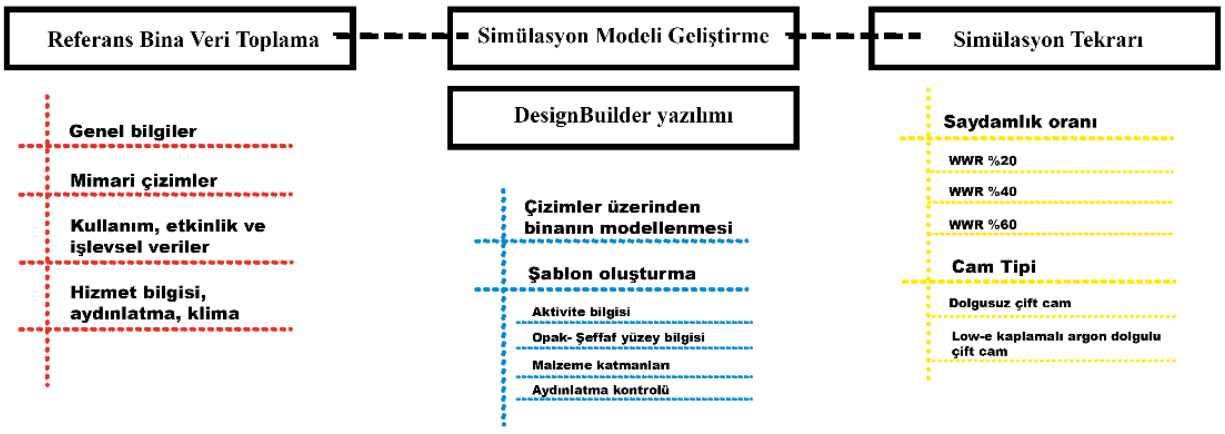
3.3. Simülasyon Senaryoları ve Deneysel Kurgu

Çalışma kapsamında, yapı kabuğundaki şeffaf yüzey oranı ve cam bileşenlerinin enerji performansına olan etkilerini analiz etmek amacıyla, toplamda altı farklı parametrik senaryo üzerinden kurgulanmıştır. Senaryoların temel değişkenleri; saydamlık oranı (WWR) ve cam tipi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Design Builder programında gün ışığı diyagramı

Çalışmada, doğal aydınlatma verimi, havalandırma yükleri, ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı gibi performans göstergeleri incelenerek, hastane odaları için optimum kabuk tasarımı araştırılmıştır. Simülasyon tasarımı Şekil 3.15 ‘de aktarılmıştır.



Şekil 3.16. Simülasyon tasarımı ve akış şeması

3.3.1. Saydamlık oranı (WWR) değişkenleri

Hastane binalarında saydamlık oranları belirlenirken, termal ve görsel konfor koşullarının dengelenmesi kritiktir. Literatürde yapılan çalışmalarda ve enerji korunum standartlarında (ECBC), optimum saydamlık oranının genellikle %40 civarında olduğu, %50 ve üzeri oranlarda ise enerji tüketiminde dengesiz artışlar yaşandığı belirtilmektedir (Rahman vd., 2021; Miller, 2010). Saydamlık oranının artırılmasıyla birlikte yapı kabuğunda iç ve dış ortam arasındaki ısı ve ışık geçiş yüzeyi genişletilmekte, bu durum ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini doğrudan etkilemektedir (Miller, 2010).

Bu verilere göre çalışmada üç farklı saydamlık konfigürasyonu belirlenmiştir:

- %20 (Düşük Oran): Minimum doğal ışık ve ısı kazancı/kaybı.
- %40 (Optimum/Referans Oran): Literatürde önerilen denge noktası.
- %60 (Yüksek Oran): Maksimum doğal ışık ve yüksek ısı transferi.

3.3.2. Cam tipi değişkenleri

Isıl iletkenlik katsayısı (U-değeri) ve Güneş Isı Kazanç Katsayısı (SHGC) farklı olan hava dolgulu çift cam ve low-e kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam olmak üzere iki temel cam tipi seçilmiştir. Literatürde low-e kaplamalı ve argon gazı dolgulu sistemlerin, ısı köprülerini minimize ederek yalıtıma önemli katkı sağladığı tespit edilmiştir (Özel, 2011). Çalışmada bu iki tipin karşılaştırılmasıyla, malzeme kalitesinin enerji verimliliğine etkisi ölçülmüştür. Çerçeve tipi olarak tüm senaryolarda alüminyum çerçeve olacak şekilde sabit tutulmuştur. Oluşturulan parametrik kurgunun özeti Çizelge 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Simülasyon senaryo kurgusu

Senaryo Adı	Saydamlık Oranı	Cam Tipi
S1	%20	Hava dolgulu çift cam
S2	%40	Hava dolgulu çift cam
S3	%60	Hava dolgulu çift cam
S4	%20	Low-E kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam
S5	%40	Low-E kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam
S6	%60	Low-E kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam

3.3.3. Simülasyon matrisi ve uygulama

Belirlenen altı yapı kabuğu senaryosu hem hastane binasına hem de farklı yönelim ve koridor düzenine sahip (A'dan F'ye kadar) tüm hasta odası birimlerine uygulanmıştır. Simülasyon akışı, EnergyPlus (termal analiz ve HVAC) ve Radiance (gün ışığı analizi) motorları entegre edilerek yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar; yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji tüketimi (kWh/m²·yıl) üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Simülasyon kurgusu, iki ana değişken grubu arasındaki etkileşimi ölçmek üzere matris yapısında tasarlanmıştır:

1. Mekânsal Değişkenler: Koridor tipi, yönelim ve dikey konum.
2. Kabuk Değişkenleri: Saydamlık Oranı (WWR: %20-%40-%60) ve Cam Teknolojisi (Standart-Low-E).

Detaylı simülasyon matrisi Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Simülasyon senaryo uygulama matrisi

Senaryo Adı	Saydamlık Oranı	Cam Tipi	Koridor Tipi	Hasta Odası Adı
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1-D2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1-D2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1-D2
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1-D2
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2

Çizelge 3.8. Simülasyon senaryo uygulama matrisi (devamı)

Senaryo-5	**%40 WWR**	**Low-e Çift Cam**	**Çift Taraflı Koridor**	**D1-D2**
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1-B2
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1-C2
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1-D2
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1-E2
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1-F2

Simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, enerji performansını belirleyen temel performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji tüketim verileri aylık ve yıllık bazda (kWh ve kWh/m²) dikkate alınmıştır. Elde edilen nicel veriler; hem birim hasta odası ölçeğinde hem de hastane binası bütününde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, enerji verimliliği açısından en avantajlı mekânsal düzen ve kabuk kombinasyonları belirlenmiştir.

3.4. Değerlendirme Kriterleri

Parametrik analiz sürecinde karşılaştırmalar, mekânsal kurgu (koridor tipi/yönelim) ve yapı kabuğu (WWR/cam tipi) olmak üzere iki ana eksende kurgulanmıştır. Çalışmada, mekânsal karşılaştırma stratejisi kapsamında hasta odalarının enerji performansları analiz edilirken öncelik, aynı kat düzleminde yer alan birimlerin kendi aralarındaki ilişkilerine verilmiştir. Bu doğrultuda ilk olarak zemin etkisinin gözlemlendiği 1. katta, Hasta Odası-A (kuzey yönelimli/tek taraflı koridor) ile Hasta Odası-B (doğu–batı yönelimli/çift taraflı koridor) karşılaştırılmış; yönelim ve koridor formunun enerji tüketimi üzerindeki etkileri birlikte değerlendirilmiştir.

Çatı etkisinin belirleyici olduğu 6. katta ise simetrik plan şemasına sahip hasta odaları gruplandırılarak karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Hasta Odası-D ve Hasta Odası-E ile Hasta Odası-C ve Hasta Odası-F birimleri, aynı koridor düzeni altında ancak farklı cephe yönelimlerine sahip olmaları nedeniyle birlikte ele alınmıştır. Bu odalara ait simülasyon sonuçları üzerinden cephe faktörüne bağlı olarak aydınlatma, ısıtma ve soğutma

yüklerindeki değişimler analiz edilmiştir. Bu karşılaştırma yaklaşımı sayesinde, dış cepheyle doğrudan ilişkili hasta odaları ile tampon bölge niteliği taşıyan koridor alanları arasındaki enerji davranış farkları zon bazında ayrıntılı biçimde ortaya konulmuştur.

Çalışmada, yapı kabuğu ve fiziksel parametrelerin değerlendirilmesi kapsamında, günümüz sürdürülebilir mimari tasarım yaklaşımlarında öne çıkan yüksek saydamlık oranına sahip kabuk tasarımları ele alınmıştır. Doğal aydınlatmadan maksimum düzeyde faydalanmayı amaçlayan bu yaklaşımlar, yapay aydınlatma enerjisi ihtiyacını azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte, kontrolsüz gün ışığı kullanımının yaz aylarında aşırı ısınmaya bağlı soğutma yükü artışına ve kış aylarında ısı kayıplarına bağlı ısıtma yükü artışına yol açabildiği bilinmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında, görsel ve ısıl konfor koşullarını birlikte gözeten optimum denge noktasının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu dengeyi analiz edebilmek amacıyla, çalışmada kullanılan cam tiplerinin seçiminde belirli fiziksel parametreler esas alınmıştır. Bu parametrelerden ilki olan ısıl iletkenlik katsayısı (U-değeri), bir malzemenin ısı geçişine karşı gösterdiği direncin ölçüsü olup (W/m²K), enerji etkin bir yapı kabuğu için düşük olması hedeflenmiştir. Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC), güneş radyasyonunun iç mekâna ne ölçüde ısı olarak aktarıldığını ifade etmekte ve ısıtma ile soğutma yüklerinin dengelenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Görünür ışık geçirgenliği (VT) ise gün ışığının malzemeden geçiş oranını tanımlamakta ve doğal aydınlatma potansiyelinin belirlenmesinde temel bir gösterge olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.9. Senaryo karşılaştırma kurgusu

Karşılaştırılan Senaryolar	Sabit Parametre	Değişken Parametre	İncelenen Etki
S1-S2-S3	Cam tipi	Saydamlık oranı (WWR)	Saydamlık oranının enerji tüketimine etkisi
S4-S5-S6	Cam tipi	Saydamlık oranı (WWR)	Saydamlık oranının enerji tüketimine etkisi
S1-S4	Saydamlık oranı	Cam tipi	Cam tipinin enerji tüketimine etkisi
S2-S5	Saydamlık oranı	Cam tipi	Cam tipinin enerji tüketimine etkisi
S3-S6	Saydamlık oranı	Cam tipi	Cam tipinin enerji tüketimine etkisi
S1-S2-S3-S4-S5-S6		Saydamlık oranı ve Cam tipi	En düşük toplam enerji tüketimi

Çalışmada, yalıtım standartlarına katkı sağlamak amacıyla Hava dolgulu standart çift cam (Senaryo 1-2-3) ile low-e kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam (Senaryo 4-5-6) tipleri kıyaslanmıştır. Low-e kaplama ve argon gazı dolgusu sayesinde iç-dış ortam arasındaki ısı transferinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Analizler, saydamlık oranlarının (%20, %40,

%60) ve cam tiplerinin çapraz eşleşmesiyle oluşturulan senaryolar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme kurgusu Çizelge 3.9'da özetlenmiştir.

3.5. Yöntemin Sınırlılıkları

Bu çalışma, parametrik bir referans hastane modeli üzerinden yürütülmüş olup; mevcut bir binadan alınan gerçek zamanlı ölçüm verileri ve operasyonel farklılıklar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Analizlerde HVAC sistem tipi sabit tutulmuş ve kullanıcı davranışlarındaki olası değişkenlikler değerlendirmeye alınmamıştır. Çalışmanın odağı mimari performans olduğu için, kullanıcı kaynaklı belirsizlikler (pencere açma sıklığı, perde kullanımı, ekipman kullanım yoğunluğu) minimize edilmiştir. Bu durum bir sınırlılık gibi görünsede iklim, kabuk ve işletim senaryolarının sabitlendiği kontrollü simülasyon yaklaşımı, çalışmanın temel hedefi olan mekânsal düzenin ve koridor tipolojisinin enerji performansı üzerindeki özgün etkisini izole ederek net bir şekilde ortaya koymayı mümkün kılmıştır.

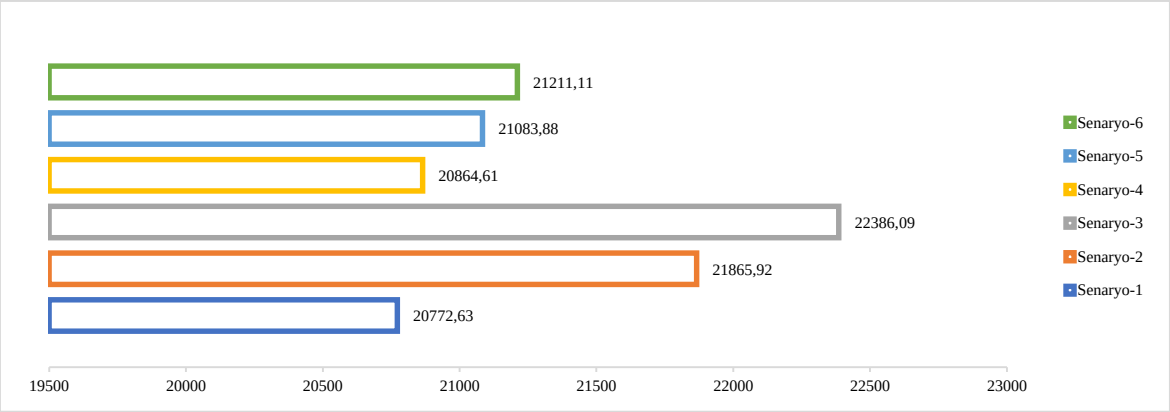
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, DesignBuilder ve EnergyPlus simülasyonları aracılığıyla elde edilen veriler, yöntem bölümünde tanımlanan senaryo kurgusu doğrultusunda karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Çalışmanın temel amacı; farklı koridor tipolojilerine sahip mekânsal düzenlerin, değişen yapı kabuğu parametreleri (Saydamlık Oranı-WWR ve Cam Tipi) altında enerji performansını nasıl etkilediğini ortaya koymaktır.

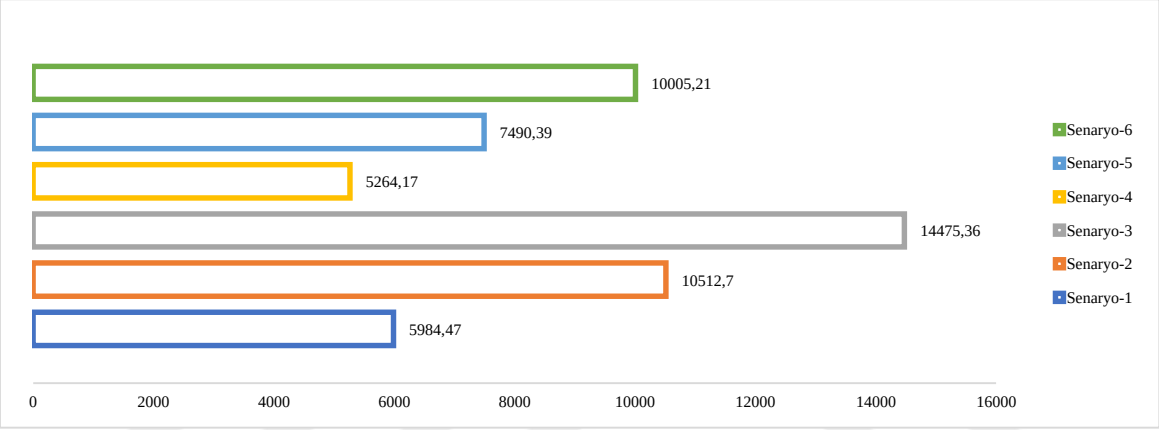
Analizler; aylık/yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketimleri (kWh ve kWh/m²) ile toplam birincil enerji yükleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Görsel konfor koşulları aydınlatma enerjisi tüketimi üzerinden, termal performans ise ısıtma ve soğutma yükleri ile güneş ısı kazancı verileri üzerinden izlenmiştir. Özellikle hasta odaları ve koridorların ayrı termal zonlar olarak tanımlanması, dış cepheyle doğrudan ilişkili mekânlar ile tampon bölge niteliği taşıyan alanlar arasındaki enerji davranışı farklarının nicel olarak ayrıştırılmasına olanak tanımıştır.

4.1. Yapı Kabuğu Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi

Ankara'nın soğuk yarı-kurak iklim (Köppen-Geiger: BSk) özellikleri göz önüne alındığında, yapı kabuğunun ısıl geçirgenliği ve güneş kontrol özellikleri, toplam enerji tüketiminde belirleyici rol oynamaktadır. Bu başlık altında, mekânsal düzenden bağımsız olarak, şeffaflık oranı ve cam teknolojisinin genel enerji tüketim trendleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Hastane binasının senaryolara göre yıllık toplam ısıtma yükü verileri



Şekil 4.2. Hastane binasının senaryolara göre yıllık toplam soğutma yükü verileri

Ankara ili iklim koşullarında konumlandırılan referans hastane binası modelinin, altı farklı yapı kabuğu senaryosunun (Senaryo 1-6); ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam birincil enerji tüketimleri üzerindeki etkileri aktarılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre yapı kabuğundaki değişiklik enerji kullanımını doğrudan etkilemektedir. Şekil 4.1. ve 4.2'de, altı farklı senaryo için elde edilen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri (Wh/m^2) detaylandırılmıştır.

Simülasyon çıktılarına göre, saydamlık oranı arttırıldığında hem ısıtma hem de soğutma enerji tüketimi artmaktadır (Çizelge 4.1). Du vd., (2020) tarafından orta-soğuk iklimlerde gözlemlenen "Saydamlık oranının %20'den %60'a arttırıldığında soğutma yükünün de %25–30 arttığı" bulgusuyla çalışmanın sonuçları doğrudan örtüşmektedir. Low-e cam tipli senaryolarda bu oran standart cam tipli senaryolara göre düşüktür. Çünkü low-e

cam filtreleme etkisi göstererek görünür ışığı geçirirken ultraviyole ve kızılötesi ışınlarını bloke etmektedir.

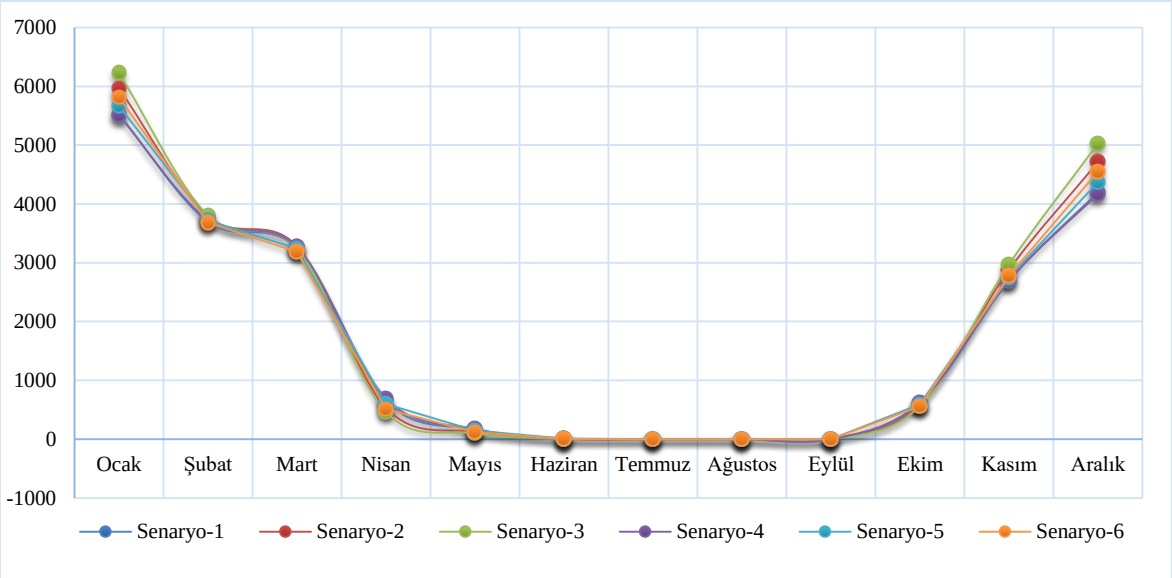
Çizelge 4.1. Hastane binasının senaryo bazlı yıllık toplam enerji tüketim dağılımı

Senaryo Adı	Cephe Özelliği	Isıtma Wh/m2 (Doğalgaz)	Soğutma Wh/m2 (Elektrik)	Aydınlatma Wh/m2	Oda Elektriği Wh/m2	Toplam Enerji Tüketimi Wh/m2
Senaryo-1	Çift Cam - %20 WWR	20,772.63	5,984.47	46,645.49	10,092.72	302,877.06
Senaryo-2	Çift Cam - %40 WWR	21,865.92	10,512.70	44,182.30	10,092.72	306,035.39
Senaryo-3	Çift Cam - %60 WWR	22,386.09	14,475.36	43,350.97	10,092.72	309,686.89
Senaryo-4	Low-e - %20 WWR	20,864.61	5,264.17	48,762.31	10,092.72	304,365.56
Senaryo-5	Low-e - %40 WWR	21,083.88	7,490.39	45,530.33	10,092.72	303,579.07
Senaryo-6	Low-e - %60 WWR	21,211.11	10,005.21	44,316.20	10,092.72	305,006.99

Elde edilen simülasyon verileri bütüncül olarak değerlendirildiğinde, yapı kabuğu parametrelerinin enerji tüketimi üzerinde doğrusal olmayan bir etki yarattığı görülmektedir. Özellikle Ankara'nın karasal iklim özelliklerine bağlı olarak, kabuk geçirgenliği (WWR) ve yalıtım niteliği (Cam Tipi), binanın termodinamik davranışını doğrudan şekillendirmektedir. Bu bölümde sunulan veriler, yalnızca enerji tüketim miktarlarını değil, aynı zamanda mimari kararların yol açtığı "yük kayması" (ısıtmadan soğutmaya geçiş) ve "soğutma cezası" (cooling penalty) gibi kritik termal olguları da ortaya koymaktadır.

4.1.1. Saydamlık oranı (WWR) ve ısıtma-soğutma dengesi

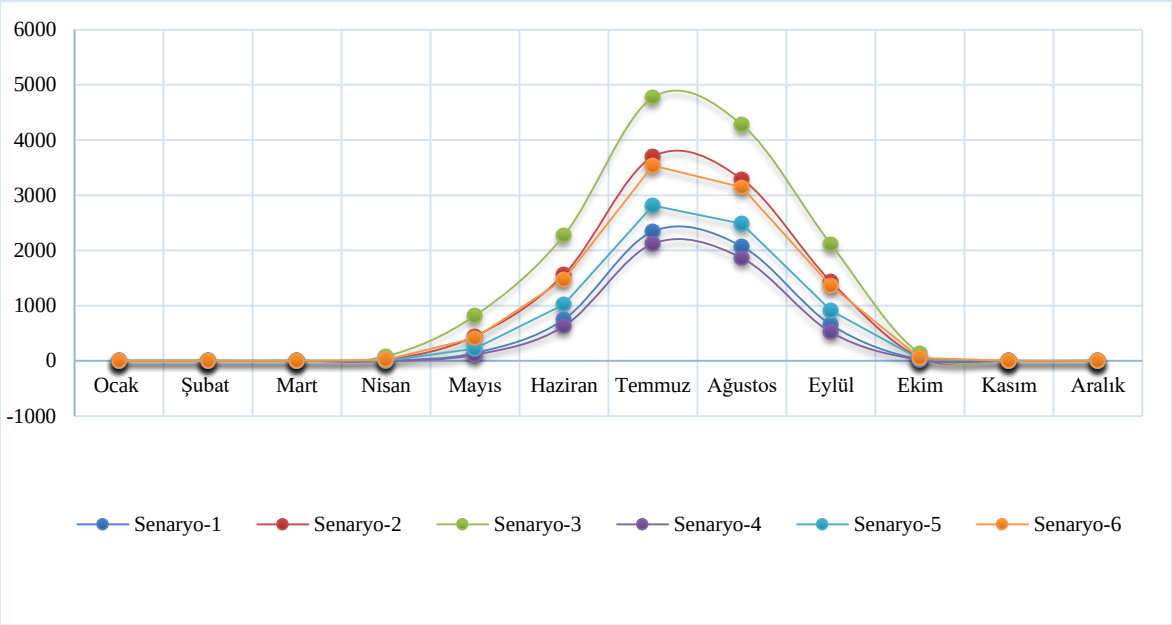
Simülasyon sonuçlarına göre, saydamlık oranının (WWR) artırılması, ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde benzer özellik göstermiştir. Saydamlık oranının %20'den %60'a çıkartılması, hava dolgulu çift camlı senaryolarda (S1-S3) ısıtma yükünde %7,7 oranında bir artışa neden olmuştur. Genişleyen cam yüzeyler pasif güneş kazancını artırsa bile, camın ısıl direncinin (R-değeri) opak duvara göre düşük olması nedeniyle gece saatlerinde gerçekleşen ısı kayıpları bu kazancı nötrlemektedir. Isıtma tüketiminin en yoğun olduğu ve dış ortam sıcaklıklarının en düşük olduğu dönem ise Ocak ayı olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.1). Bu durum Ankara ili ortalama sıcaklık verileri ile doğrudan örtüşmektedir.



Şekil 4.3. Hastane binasının senaryolara göre aylık ısıtma yükü verileri

Haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında bütün senaryolar için ısıtma yükü verileri sıfırlanmaktadır. Bu aylarda Ankara ilinin ortalama dış ortam sıcaklık verileri 25°C ile 30°C arasında değişmektedir. Çalışmada ısıtma sisteminin devreye girmesi için iç ortam konfor koşulları sınır değeri 22°C olarak belirlenmiştir ve bütün simülasyonlarda doğru veri elde etmek amacıyla sabit tutulmuştur. Bu nedenle yaz döneminde binanın ısıtma sistemi devreye alınmamış gözükmektedir.

Simülasyon sonuçlarında WWR oranının %20'den %60'a çıkarılmasıyla soğutma yüklerinde gözlemlenen %142'lik dramatik artış (5,984 Wh/m²'den 14,475 Wh/m²'ye), literatürde "soğutma cezası" olarak tanımlanan durumu doğrulamaktadır. Geniş şeffaf yüzeyler kışın pasif güneş kazancı ile ısıtma yükü azaltsa da yaz aylarında kontrolsüz solar radyasyon girişi nedeniyle iç ortamda aşırı ısınmaya (overheating) neden olmaktadır. Veriler, Ankara iklimi için %40 saydamlık oranının bir "kırılma noktası" olduğunu işaret etmektedir; bu oranın üzerindeki artışlar, ısıtma kazancından çok daha yüksek oranda soğutma yükü getirmektedir. Bu durum, pasif güneş kazancının faydası ile aşırı ısınma riski arasındaki dengenin %40 bandında bozulduğunu göstermektedir.



Şekil 4.4. Hastane binasının senaryolara göre aylık soğutma yükü verileri

Senaryoların soğutma yükü enerji tüketimleri yıllık olarak yukarıda Şekil 4.4'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. En az soğutma yüküne sahip senaryonun %20 saydamlık oranı ile argon gazı dolgulu pencere sistemleri olduğu görülmüştür. Saydamlık oranının az olması iç ortama alınan ışık miktarını azaltmaktadır. Bu nedenle saydamlık oranı %40 olan pencere sistemlerinin %20 olan pencerelerle karşılaştırıldığında soğutma yükü açısından daha zayıf bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

4.1.2. Cam teknolojisinin etkisi

Standart hava dolgulu çift cam ile Low-e kaplamalı argon gazı dolgulu camın karşılaştırıldığı analizlerde, cam teknolojisinin özellikle yüksek WWR oranlarında dengeleyici bir unsur olduğu tespit edilmiştir. Low-e kaplamalı cam kullanımı (S4, S5 ve S6), standart cama (S1, S2 ve S3), kıyasla soğutma yüklerinde belirgin bir düşüş sağlamıştır. Örneğin %60 WWR oranında Low-e cam (S6), standart cama (S3) göre soğutma enerjisinde %30.8 tasarruf sağlamıştır. Bu bulgu, Low-e kaplamanın spektral seçicilik özelliği sayesinde, görünür ışığı içeri alırken güneşin yakıcı kızılötesi (IR) ışınlarını bloke etmesi ve böylece soğutma yüklerini baskılaması sonucunda oluşmaktadır. Ayrıca, Low-e kaplamanın

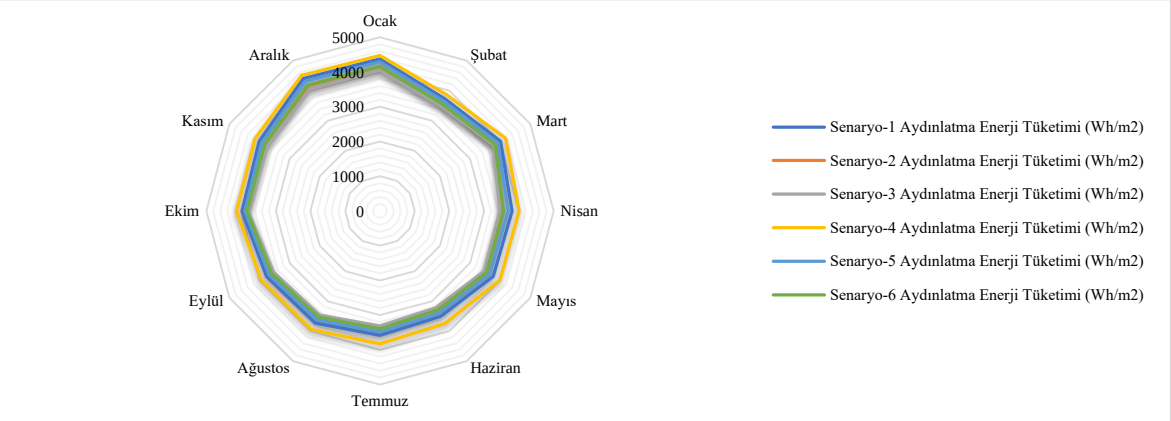
ışık geçirgenliği üzerindeki etkisi nedeniyle, aydınlatma yüklerinde standart cama göre ortalama %2.2 ile %4.5 arasında küçük bir artış gözlemlenmiştir. Bu bulgu, Aburumman (2025) tarafından vurgulanan "gün ışığı ve termal performans arasındaki hassas denge" gerekliliğini nicel olarak kanıtlamaktadır. Standart çift cam (S3) ile low-e kaplamalı cam (S6) kıyaslandığında, cam teknolojisinin özellikle yüksek saydamlık oranlarında (%60) bir "kompanse edici" rol üstlendiği görülmektedir. Low-e kaplama, spektral seçicilik özelliği sayesinde görünür ışığı içeri alırken, güneşin kızılötesi (IR) ısıl yükünü bloke ederek S6 senaryosunda soğutma yükünü S3'e göre yaklaşık %30 oranında düşürmüştür. Bu bulgu, mimari nedenlerle (manzara, estetik vb.) şeffaflık oranının artırılması gereken durumlarda, nitelikli cam kullanımının mekânsal dezavantajları belirli ölçüde tolere edebileceğini göstermektedir.

Low-e camın güneş ısı kazanç katsayısının (SHGC) ve ısıl geçirgenlik değerinin düşük olması, özellikle soğutma yüklerinin baskılanmasına katkı sağlamıştır. %60 saydamlık oranında dahi HVAC yükünün %40 senaryosuna kıyasla artmaması, Low-e kaplamalı camın yüksek saydamlık koşullarında dahi enerji performansını dengeleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir. Bu bulgu, Low-e kaplamalı camların yüksek WWR değerlerinde dahi enerji performansını stabilize edebildiğini ortaya koyan önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir (Rafeeq, 2021; ASHRAE AEDG, 2023). Özellikle hastane gibi kesintisiz iklimlendirme gerektiren yapılarda, cam türünün saydamlık oranından bağımsız olarak kritik bir tasarım parametresi olduğu görülmektedir.

4.1.3. Doğal aydınlatma ve görsel konfor analizi

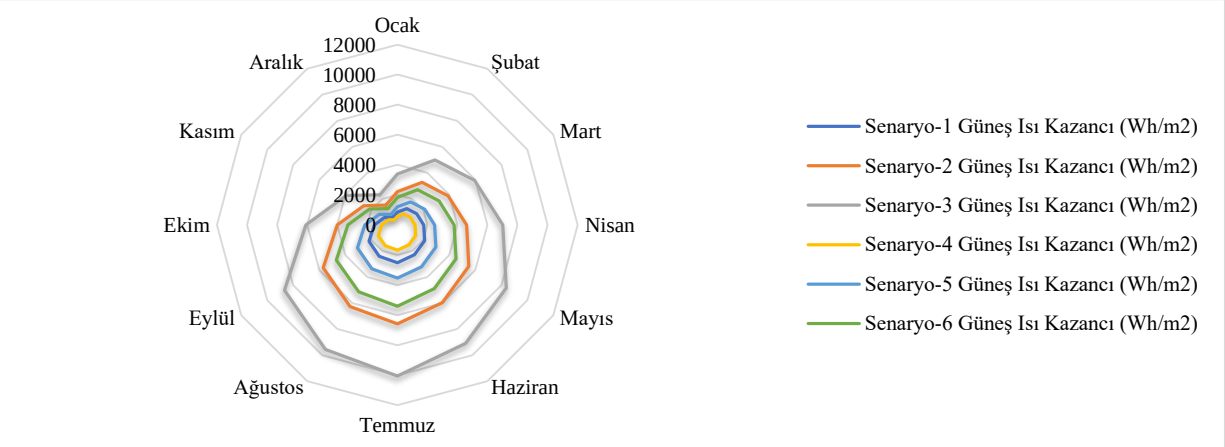
Saydamlık oranının artması, beklendiği üzere doğal aydınlatma potansiyelini yükselterek yapay aydınlatma enerjisi tüketimini azaltmıştır (Şekil 4.6). WWR'nin %20'den %60'a çıkarılması, aydınlatma enerjisinde %7-9 aralığında bir tasarruf sağlamıştır (Şekil 4.5). Ancak, aydınlatmadan elde edilen bu kazanç (yaklaşık 3.3 kWh/m²), soğutma yükündeki artışla (8.5 kWh/m²) kıyaslandığında, toplam enerji dengesinde negatif bir tablo çizmektedir. Bu durum, görsel konfor ile ısıl konfor arasındaki "ödünleşim" (trade-off) ilişkisidir. Sadece gün ışığı maksimizasyonuna odaklanan tasarım stratejilerinin, toplam

birincil enerji verimliliğini düşürebileceğini ve yapay aydınlatma kazancının soğutma yükü maliyetini karşılamadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, tasarım sürecinde görsel konfor koşullarının termal konfor koşulları ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5. Hastane binasının senaryolara göre aylık aydınlatma yükü verileri

Bu bulgular, Calama-González, vd. (2019) tarafından belirtilen orta-soğuk iklimlerdeki saydamlık oranı etkisiyle yüksek düzeyde korelasyon göstermektedir. Dolayısıyla modelin enerji davranışı fiziksel, iklimsel ve literatürdeki araştırma verilerine göre doğrulanmıştır. Simülasyonlar fiziksel olarak tutarlı, iklimsel olarak geçerli ve akademik literatürle doğrulanabilir niteliktedir.

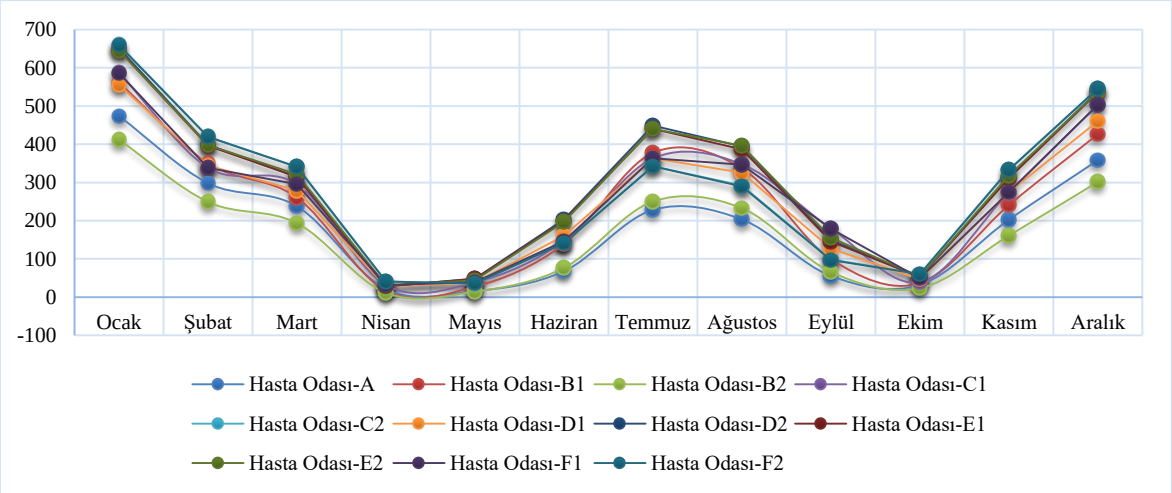


Şekil 4.6. Hastane binasının senaryolara göre aylık güneş ısı kazancı verileri

Saydamlık oranı %20 senaryosu, soğuk iklim koşullarında ısı kayıplarını azaltan kompakt bir çözüm sunarken, doğal aydınlatma kazançlarından sınırlı derecede faydalanmaktadır. Bu nedenle simülasyon çıktılarına göre, yapay aydınlatma kullanımında en verimsiz durumu temsil etmiştir. Saydamlık oranının %60 çıkartılması ile binanın aydınlatma için harcadığı enerji kullanımı azalmış, ısıtma için harcadığı enerji artış göstermiştir.

4.2. Mekân Düzeni Parametrelerinin Enerji Performansına Etkisi

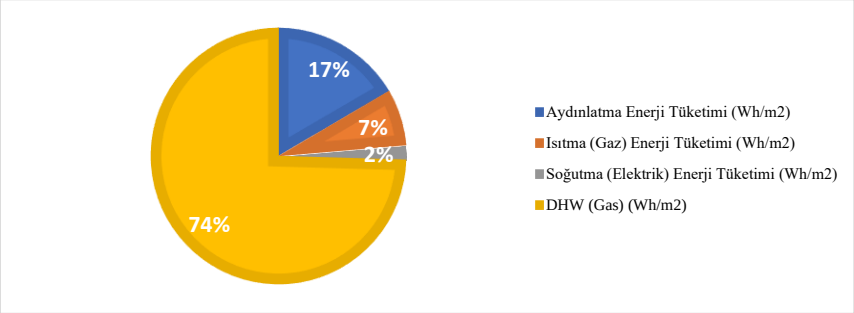
Hasta odalarının mekânsal düzenine ilişkin farklı kurguların enerji performansı üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla, seçilen hasta odası tipolojileri yıllık toplam enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, mekânsal organizasyonun yapı kabuğu ve pencere sistemlerinden bağımsız olarak enerji tüketimini ne ölçüde etkileyebildiğini değerlendirmek açısından kritik bir çerçeve sunmaktadır. Elde edilen bulgular, koridor tipolojisinin yalnızca bir sirkülasyon elemanı olmadığını, aynı zamanda koşullandırılmış (hasta odası) ve koşullandırılmamış (dış ortam) alanlar arasında çalışan bir "termal tampon bölge" (thermal buffer zone) işlevi gördüğünü kanıtlamaktadır. Aşağıdaki başlıklarda detaylandırıldığı üzere, koridorun konumu ısı geçiş hızını ve yönünü doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4.7. Hasta Odası Mekânsal Düzenlerine Göre Yıllık Toplam Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Şekil 4.7'de sunulan sonuçlar, hasta odası mekan tasarımının yıllık toplam enerji tüketimini yaklaşık %40 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Bu fark, mekânsal düzenin yalnızca işlevsel veya kullanıcı odaklı bir planlama kararı olmadığını; aynı zamanda binanın enerji performansını belirleyen güçlü bir pasif tasarım parametresi olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgu, yapı kabuğu iyileştirmeleriyle sağlanan enerji tasarruflarının, mekânsal organizasyon kararlarıyla daha da güçlendirilebileceğini göstermektedir.

Çalışmanın temel odak noktası olan mekânsal düzenin enerji performansına etkisi; tek taraflı, çift taraflı ve radyal koridor tipolojileri üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, koridor düzeninin tampon bir termal bölge (thermal buffer) işlevi görerek enerji tüketimini doğrudan şekillendirdiğini kanıtlamaktadır. Plan kurgusunun ısıl davranış üzerindeki etkisi incelendiğinde, koridor organizasyonunun ısı kayıp ve kazanç mekanizmalarını değiştirdiği görülmektedir. Tek taraflı koridor sistemlerinde, hasta odaları ile servis alanları gibi farklı termal karakteristiğe sahip mekanların karşılıklı konumu, sirkülasyon hattı boyunca termal etkileşimi ve ısı geçişlerini artırmaktadır. Aksine, çift taraflı koridor sistemlerinde, sirkülasyon aksının her iki yanının eşdeğer konfor koşullarına sahip hasta odalarıyla çevrelenmesi, adyabatik bir etkiye yaklaşarak ısı akışını sınırlandırmakta ve enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Ancak radyal plan şemalarında, çekirdekten çepere doğru genişleyen sirkülasyon alanları ve artan yüzey/hacim oranı (form faktörü), ısıl geçirgenliği artırarak iklimlendirme yüklerinin diğer tipolojilere kıyasla daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.8. Hasta Odası B2 HVAC verilerinin dağılımı (S5)

Dolgusuz ve kaplamasız cam kullanılan senaryolarda, %20, %40 ve %60 saydamlık oranları için gerçekleştirilen analizler sonucunda, tüm varyasyonlarda Hasta Odası-B2'nin en düşük HVAC yüküne sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Hasta odası B2'de HVAC verilerinin dağılımı ise Şekil 4.8'de sunulmuştur.

- Senaryo-1: Hasta Odası-B2 → 4285.3Wh/m²
- Senaryo-2: Hasta Odası-B2 → 5046.4 Wh/m²
- Senaryo-3: Hasta Odası-B2 → 5897.5 Wh/m²

Hasta Odası-B2'nin tüm yapı kabuğu senaryolarında en düşük HVAC değerini vermesi, bu mekânın daha dengeli cephe teması, dikey konum etkisi ve koridorla tamponlanmış konumu ile açıklanabilir. Bu bulgu, dış ortama doğrudan temas eden yüzey alanı arttıkça ısı kayıp ve kazançlarının yükseldiği ve buna bağlı olarak enerji tüketiminin arttığına dair literatür verileri ile paralellik göstermektedir (Tyner, 2012; Kazanasmaz, 2012).

Saydamlık oranının artmasıyla birlikte tüm hasta odalarında HVAC yüklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, özellikle soğutma yüklerindeki yükselme ile ilişkilidir. Dolgusuz ve kaplamasız camın yüksek güneş geçirgenliği nedeniyle, saydamlık oranı arttıkça güneş kazançlarının kontrolsüz biçimde artması, yaz dönemlerinde soğutma gereksinimini yükseltmektedir. Çizelge 4.2'de senaryoların ısıtma ve soğutma tüketim değerleri aktarılmıştır.

Çizelge 4.2. Hasta odaları yıllık ısıtma ve soğutma yükü simülasyon sonuçları

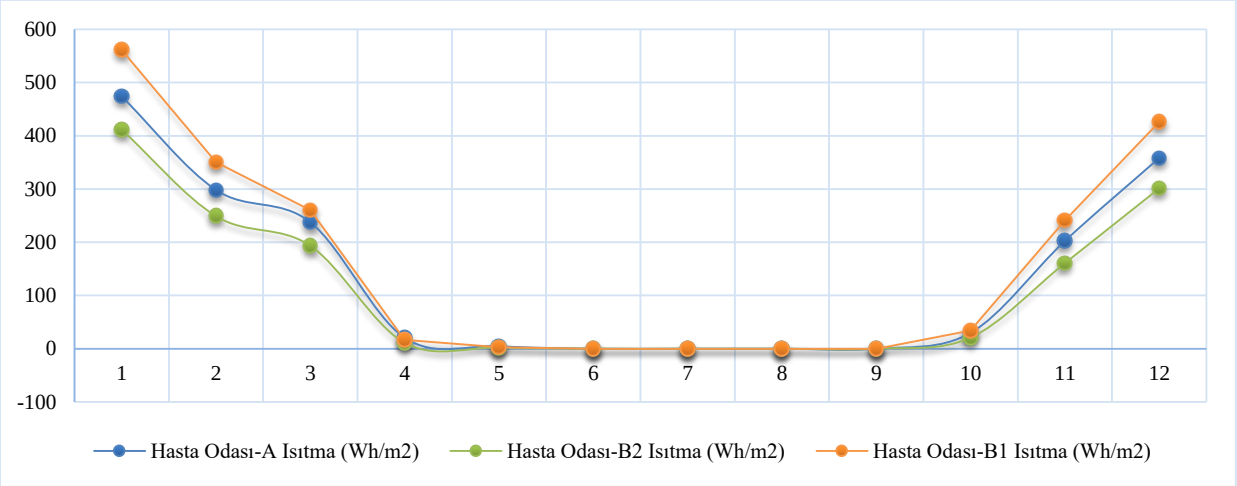
Senaryo Adı	Saydamlık Oranı	Cam Tipi	Koridor Tipi	Hasta Odası	Isıtma Enerji Tüketimi Wh/m2	Soğutma Enerji Tüketimi Wh/m2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	1656,398582	457,647
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	1840,31954	744,025
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1334,067431	533,595
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	1888,671821	818,818
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2221,325666	696,936
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	1949,108514	760,2
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2177,726189	929,709
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2167,277192	910,445
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2010,604101	923,858
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	1925,595681	817,584
Senaryo-1	%20 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2221,184946	694,7

Çizelge 4.2. Hasta odaları yıllık ısıtma ve soğutma yükü simülasyon sonuçları (devam)

Senaryo Adı	Saydamlık Oranı	Cam Tipi	Koridor Tipi	Hasta Odası	Isıtma Enerji Tüketimi Wh/m2	Soğutma Enerji Tüketimi Wh/m2
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	1840,14149	805,045
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	2181,008693	1516,13
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1311,237087	801,540
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	2202,876094	1962,97
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2685,407863	1607,12
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	2094,02762	1862,11
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2422,883656	2254,63
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2407,331052	2211,98
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2424,50313	2270,04
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	2200,952802	1963,03
Senaryo-2	%40 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2685,783781	1603,08
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	2021,452288	1131,81
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	2432,138146	2222,94
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1286,591356	1100,80
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	2388,340851	2886,39
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2988,187572	2323,87
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	2234,799244	2786,91
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2581,197445	3362,41
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2561,391503	3307,23
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2583,413417	3405,43
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	2388,340851	2886,39
Senaryo-3	%60 WWR	Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2988,507325	2314,22
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	1496,176488	412,229
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	1746,757433	621,135
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1346,381266	483,074
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	2080,977566	544,315
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2089,799412	547,484
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	1954,037067	511,918
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2271,554645	631,302
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2260,501853	617,979
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2234,844122	585,483
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	2080,719613	543,321
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2299,893614	465,856
Senaryo-4	%20 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	1626,125636	566,536
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	1893,552413	978,987
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1351,240572	639,513
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	2079,538339	1074,12
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2404,272681	904,739
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	1989,84273	1012,07
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2297,135729	1244,58
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2284,257834	1219,57
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2303,009184	1230,68
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	2078,482946	1073,22
Senaryo-5	%40 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2404,609076	901,16
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Tek Taraflı Koridor	A	1496,176488	412,229
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B1	1746,757433	621,135
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	B2	1350,917042	823,530
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C1	2080,977566	544,315
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	C2	2299,956613	467,412
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D1	1954,037067	511,918
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	D2	2271,554645	631,302
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E1	2260,501853	617,979
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Çift Taraflı Koridor	E2	2267,777036	621,47
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F1	2080,719613	543,321
Senaryo-6	%60 WWR	Low-e Çift Cam	Merkezi Düzen	F2	2299,893614	465,856

4.2.1. Tek taraflı koridor düzeni (Hasta Odası-A)

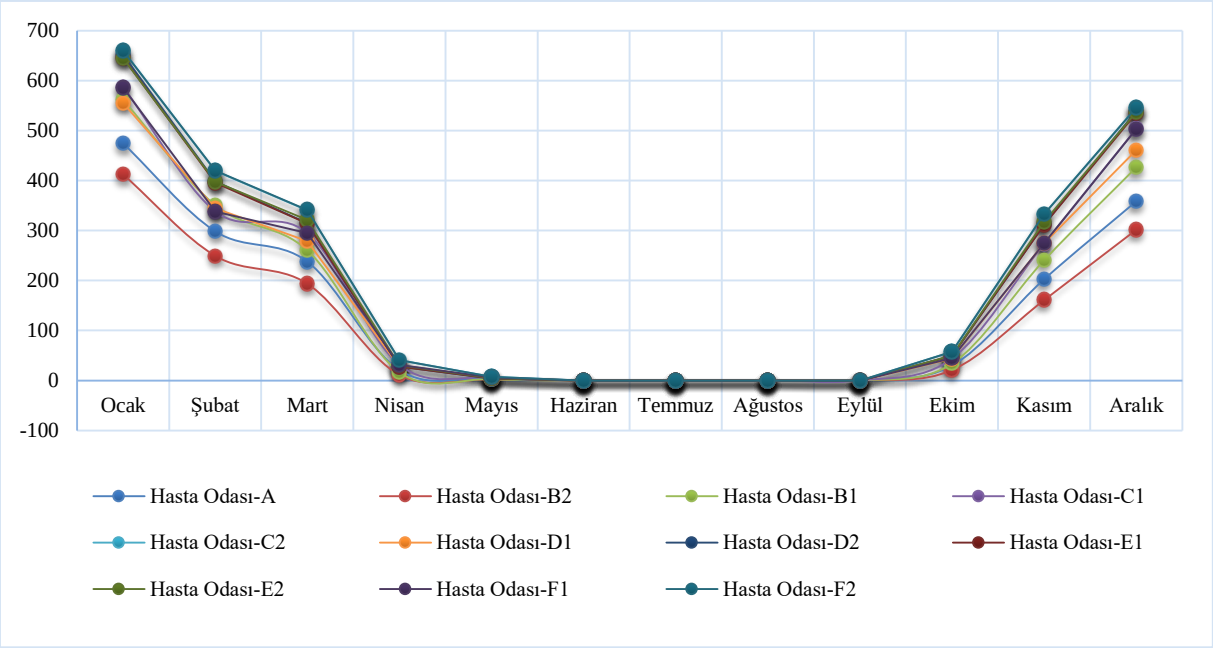
Doğrudan dış cepheye açılan ve arka cephesi koridorla sınırlanan A tipi hasta odaları, en yüksek ısıtma yüküne sahip birimler olarak öne çıkmıştır. Kuzey yönelimli ve geniş bir dış cephe yüzeyine sahip olması, kış aylarında transmisyon kaynaklı ısı kayıplarını maksimize etmiştir. Odanın herhangi bir tampon bölge ile korunmaması, dış iklim koşullarındaki dalgalanmaların iç ortama doğrudan yansımasına neden olmuştur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Birinci Kat hasta odaları aylık ısıtma yükü (S5)

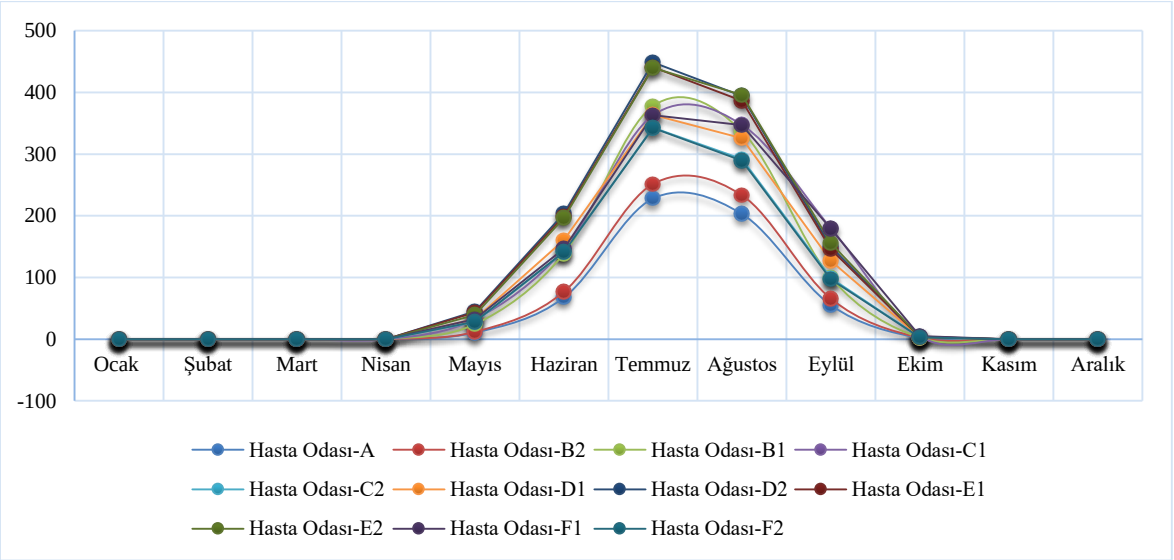
4.2.2. Çift taraflı koridor düzeni (Hasta Odası-B, D, E)

Çift taraflı koridor düzeninde yer alan odaların özellikle iç avluya veya koridor arkasına bakan birimlerin, enerji verimliliği açısından en avantajlı grup olduğu saptanmıştır. Koridorların hasta odası, dış ortam veya diğer zonlar arasında bir hava yastığı görevi görmesi, ısı geçişlerini yavaşlatmaktadır. Bu nedenle %40 saydamlık oranı ve low-e kaplı durumda B2 tipli oda ısıtma yükü açısından en verimli profili göstermiştir ve tüm senaryolarda en düşük toplam HVAC yükünü sergilemiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Hasta odaları aylık ısıtma yükü verileri (S5)

Hasta Odası-B2'nin verileri ile Hasta Odası-A verileri karşılaştırıldığında soğutma yükünde koridor tipine göre neredeyse 2 kat daha fazla enerji tüketildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.11). Bu durum Hasta Odası-B2'nin çift taraflı koridor tipolojisinde iç kazançların yükselmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.11. Hasta odaları aylık soğutma yükü verileri (S5)

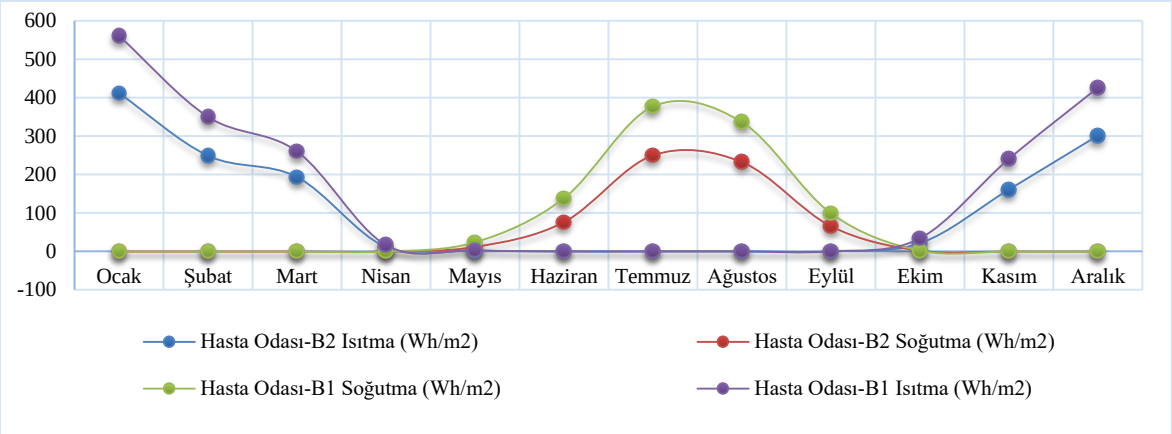
4.2.3. Radyal düzen (Hasta Odası-C ve F)

Binanın köşe noktalarında veya radyal hatlarında konumlanan C ve F tipi odalar, dış kabuk yüzey alanı/hacim oranının yüksek olması nedeniyle enerji açısından dezavantajlı bir profil göstermiştir. Yüksek yüzey alanı/ hacim oranına sahip olmaları hem kışın ısı kaybını hem de yazın güneş kazancını artırmaktadır. Özellikle güney yönelimli olan F tipi odalarda, soğutma yükünün ısıtma yükünü geçtiği ve yıl boyunca en yüksek soğutma talebinin bu odalarda oluştuğu tespit edilmiştir. Bu da literatürdeki pencere yönelimlerinde güney cephenin doğal aydınlatmadan maksimum verim sağlandığına ilişkin çalışmalar ile örtüşmektedir.

C ve F tipi odalarda gözlemlenen yüksek enerji tüketimi, mimari form faktörü ile doğrudan ilişkilidir. Radyal ve köşe yerleşimli bu odaların "dış kabuk alanı / oda hacmi" oranının yüksek olması, birim hacim başına düşen ısı kaybı yüzeyini artırmaktadır. Bu morfolojik dezavantaj, cam teknolojisi ne kadar iyileştirilirse iyileştirilsin, geometrik bir verimsizlik olarak enerji faturalarına yansımaktadır.

4.3. Detaylı Analiz: Tampon Bölge Etkisi (B1 ve B2 Karşılaştırma)

Şekil 4.12'de gösterilen aynı yönelime (Doğu-Batı aksı) ve aynı kat düzlemine (1. Kat) sahip olmalarına rağmen, mekânsal kurgudaki farklılıkların B1 ve B2 no'lu hasta odalarının enerji tüketim karakteristiğini dramatik ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hasta Odası-B1 'de odanın dış duvarı doğrudan dış atmosfere ve güneş radyasyonuna açıktır. Herhangi bir mimari tampon elemanı bulunmamaktadır. Hasta Odası-B2 (Tamponlanmış/Buffered) de, oda ile dış cephe arasında bir koridor hattı bulunmaktadır. Bu koridor, dış ortamın ısıl şoklarını absorbe eden bir "termal tampon bölge" (thermal buffer zone) işlevi görmektedir.



Şekil 4.12. Hasta odası B1-B2'ye ait ısıtma ve soğutma verileri (S5)

Aynı yönelime ve kat düzlemine sahip B1 ve B2 odaları arasındaki performans farkı, çalışmanın en çarpıcı mimari bulgusunu oluşturmaktadır. B1 odası doğrudan dış cepheye maruz kalırken, B2 odasının koridorla tamponlanmış olması, soğutma yüklerinde %52, ısıtma yüklerinde ise %39 oranında bir pasif tasarruf sağlamıştır (Şekil4.12). Bu veri, hastane tasarımında servis koridorlarının dış çeperde konumlandırılmasının, ekstra yalıtım maliyeti gerektirmeden ciddi bir enerji verimliliği stratejisi olarak kullanılabileceğini sayısal olarak kanıtlamaktadır. B1 odası, güneş radyasyonunu doğrudan absorbe ederek yaz aylarında aşırı ısınma (overheating) riski taşırken; B2 odası, önündeki koridorun gölgeleme etkisi ve hava yastığı görevi görmesi sayesinde daha stabil bir ısıl ortam sunmaktadır. Isıtma yükü ise kış döneminde, B1 odası dış kabuktan gerçekleşen transmisyon kayıpları nedeniyle B2 odasına göre %39 daha fazla ısıtma enerjisine ihtiyaç duymaktadır. B2 odası ise, koridorun ılımanlaştırılmış havasıyla temas ettiğinden, ısı kaybı minimize edilmiştir.

Tampon bölge etkisi, termal konforda büyük avantaj sağlarken, görsel konfor ve aydınlatma enerjisinde bir dezavantaj yaratmaktadır. B2 odası, iç avluya bakması ve koridorun gölgeleme etkisi nedeniyle, B1 odasına göre %30 daha fazla aydınlatma enerjisi tüketmektedir. Ancak, B1 odasında aydınlatma enerjisinden sağlanan tasarruf, soğutma yükündeki devasa artışla (%52) kıyaslandığında, toplam enerji verimliliği açısından B2 odasının kurgusu "Toplam Birincil Enerji Tüketimi" bakımından daha üstün bir performans sergilemektedir.

Bu analiz, hastane mimarisinde koridorların sadece bir sirkülasyon elemanı değil, aynı zamanda pasif bir enerji stratejisi bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle karasal iklim bölgelerinde, hasta odalarının doğrudan cepheye yerleştirilmesi yerine, bir sirkülasyon hattı veya servis mekânı ile tamponlanması, yıllık HVAC yüklerinde %40-50 bandında tasarruf potansiyeli taşımaktadır. Isıtma ve soğutma yükleri yıl boyunca daha dengeli dağılmaktadır

4.4. Konumun Etkisi

Hastanelerde hasta odalarının konumu, koridor tipolojisi ve dış cephe ile kurduğu ilişki, binanın yıllık enerji talebi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen ısıtma ve soğutma yükü değerleri, mekânsal kurgunun enerji performansı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Toplam yıllık enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde (Çizelge 4.3), hasta odalarının dış cepheyle doğrudan ilişkili olduğu senaryoların hem ısıtma hem de soğutma yüklerinin artması nedeniyle daha yüksek toplam enerji tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, mekânsal düzenin bina enerji performansı üzerinde belirleyici bir tasarım parametresi olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3. Hasta odalarının S5 göre yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi

Saydamlık Oranı	Hasta Odası Adı	Kat	Koridor Tipi	Isıtma Yükü Wh/m2	Soğutma Yükü Wh/m2
%40	Hasta Odası-A	1. Kat	Tek Taraflı Koridor	1626,125636	566,5360455
%40	Hasta Odası-B1	1. Kat	Çift Taraflı Koridor	1893,552413	640,6907916
%40	Hasta Odası-B2	1. Kat	Çift Taraflı Koridor	1351,240572	639,513
%40	Hasta Odası-C1	6. Kat	Radyal koridor	2079,538339	1244,579401
%40	Hasta Odası-C2	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2404,272681	1012,074245
%40	Hasta Odası-D1	6. Kat	Radyal koridor	1989,84273	1074,119277
%40	Hasta Odası-D2	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2297,135729	904,7392351
%40	Hasta Odası-E1	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2284,257834	1230,676264
%40	Hasta Odası-E2	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2303,009184	1219,567848
%40	Hasta Odası-F1	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2078,482946	1073,219245
%40	Hasta Odası-F2	6. Kat	Çift Taraflı Koridor	2404,609076	901,1601438

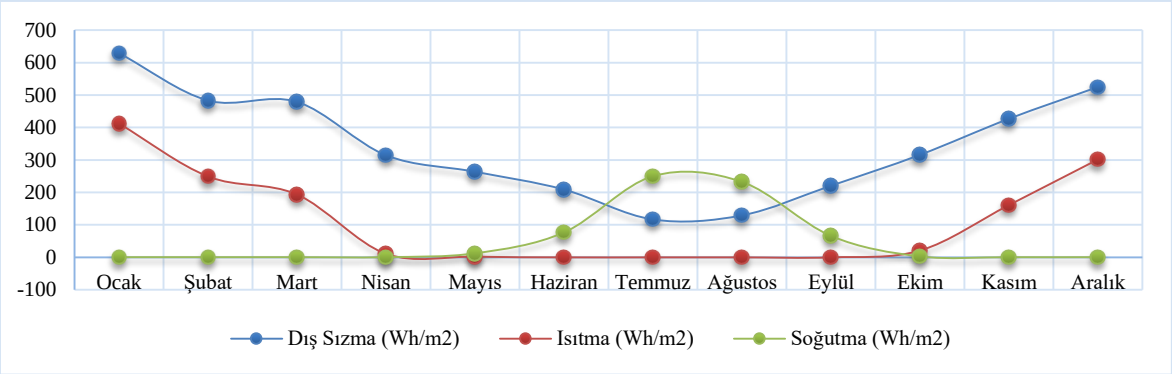
Elde edilen bulgular, hastanelerde enerji performansının yalnızca cam türü veya saydamlık oranı ile değil, mekânsal yerleşim, cephe ilişkileri ve tampon mekân varlığı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Low-e kaplamalı cam kullanımı,

yüksek saydamlık oranlarında dahi HVAC yüklerini sınırlayarak enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, mekânsal olarak avantajlı konumlanan hasta odaları, cam türünden bağımsız olarak daha düşük enerji tüketimi sergilemektedir. Bu bağlamda, hasta odası tasarımında cam türü–saydamlık oranı–mekânsal konfigürasyon bileşenlerinin birlikte ele alınması, enerji etkin hastane tasarımı için kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

4.4.1. Düşey konum etkisi (zemin – çatı ve infiltrasyon)

Hasta odalarının kat düzlemindeki yeri, özellikle infiltrasyon ve çatı yükleri açısından farklılık yaratmaktadır. Yalıtılmamış çatı yüzeyinden kaynaklı ısı geçişleri ve artan rüzgar etkisiyle, 6. kattaki odalarda (C, D, E, F) infiltrasyon oranları çatı yüzeyi ısı iletimi nedeniyle daha yüksek ölçülmüştür. Bu durum, 1. kattaki odalara göre soğutma yüklerinde %56'ya varan artışlara neden olmuştur. Zemin teması, ısı geçişini stabilize ederek 1. kattaki odaların (A, B) daha dengeli bir termal profil çizmesini sağlamıştır. Bu durum, çok katlı hastane yapılarında üst katların sızdırmazlık ve yalıtım detaylarının zemin katlara göre daha yüksek standartlarda çözülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Hasta Odası-B2 analizinde havalandırma-infiltrasyon etkisi belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. Dış sızma değerleri Ocak ayında -19.864 Wh/m²'ye ulaşmış olup bu kayıplar, aynı ayda ölçülen 13.086 Wh/m²'lik ısıtma değerinin temel belirleyicisi olmuştur. Tüm yıl boyunca ACH değerleri 0.71–0.75 aralığında seyretmiş, bu durum infiltrasyonun sürekli bir ısı kaybı mekanizması olduğunu göstermiştir (Şekil 4.13). Özellikle dış ortam sıcaklığının düşük olduğu aylarda infiltrasyon kayıplarının üstel artış göstermesi, ısıtma enerjisi gereksinimini dramatik biçimde yükseltmiştir.

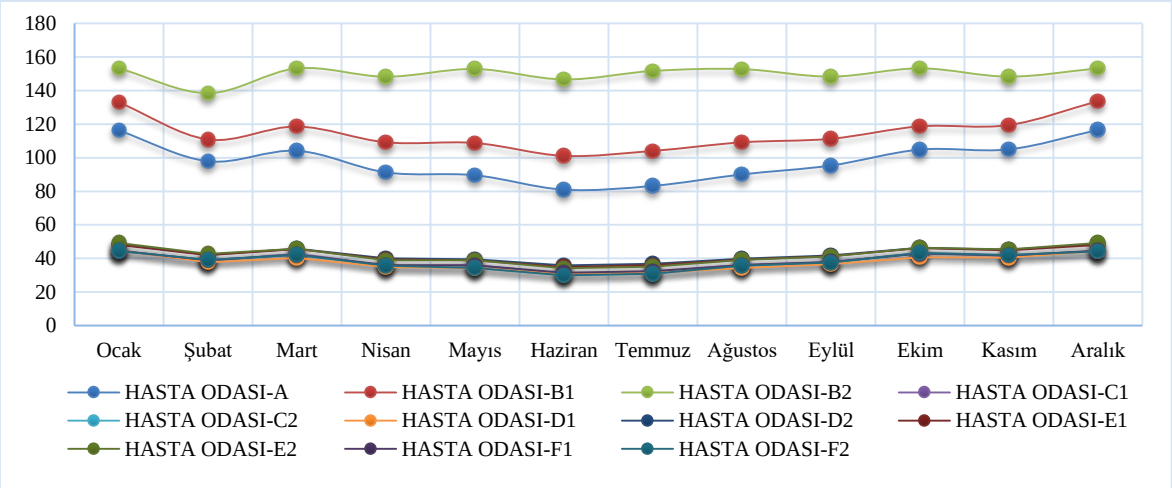


Şekil 4.13. Hasta odası-B2 infiltrasyon analizi (S5)

Hasta Odası A, B1 ve B2 odalarının güneş kazanımları 6.katta bulunan hasta odaları ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Üst katlarda bulunan C, D, E ve F tipli odalar diğer oda tiplerine göre daha fazla gün ışığına ve çatı etkisine maruz kalmaktadır. Sonuç olarak güneş ışığı kazanç katsayıları dikey konum etkisine bağımlı olarak hareket etmektedir.

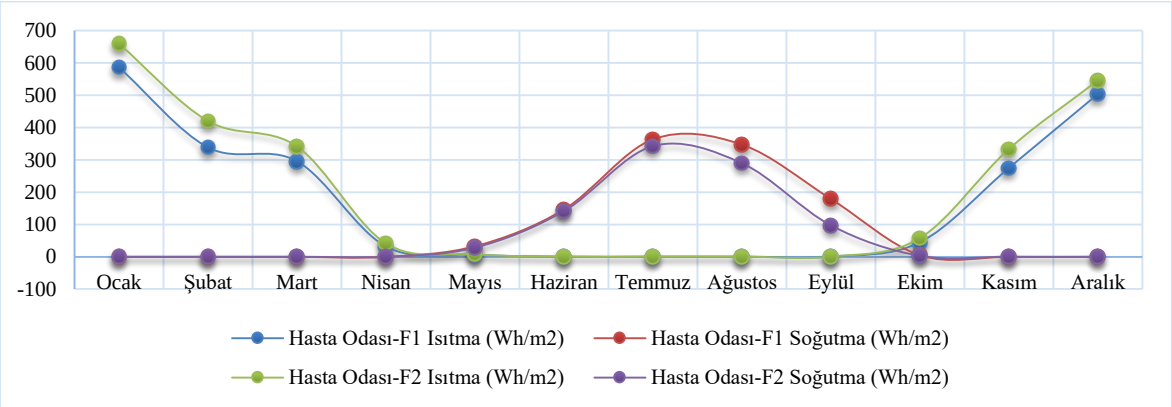
4.4.2. Yönelim etkisi

Ankara ikliminde güney ve batı cepheleri, pasif güneş kazancı açısından avantaj sağlamaktadır, fakat kontrolsüz cam yüzeylerde yazın aşırı ısınma riski taşımaktadır. Güney yönelimli F odasında soğutma yükünün ısıtmayı geçtiği gözlemlenmiştir. Kuzey yönelimli A ve E odalarında ise iklim koşullarına uygun olarak ısıtma yükü baskın karakterini korumuştur (Şekil 4.14). Bu bulgu, Mohammad ve Ghosh (2023) ile Zorita vd. (2016) tarafından rapor edilen, yüksek WWR değerlerinin özellikle güney ve doğu cephelerde aşırı ısınma riskini artırdığı yönündeki sonuçlarla örtüşmektedir.



Şekil 4.14. Hasta Odaları aylık aydınlatma enerji tüketimi S5)

İklimsel veriler göz önünde bulundurulduğunda F tipli odalar kış aylarında ısıtma yükü, yaz aylarında ise soğutma yükü yönünden baskın profil göstermektedir. F2 tipli oda F1 tipli odaya göre soğutma yükünü yaklaşık %16 azaltırken ısıtma yükünü %15,7 oranında arttırmaktadır. Toplam enerji tüketimin de ise yaklaşık %4,9 oranında artış meydana gelmiştir. (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Hasta Odası F1-F2 ısıtma, soğutma ve SCGH verileri (S5)

Çizelge 4.4'de hasta odalarının koridor tipine ve yönelim etkisine göre güneş kazançları ile ilgili veriler aktarılmıştır. Koridor tipi ve yatay konum etkisi birlikte değerlendirildiğinde en yüksek güneş ısı kazancının güney yönde bulunan C1 ve F1 oda tiplerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Hasta odalarının enerji tüketim analizi

Oda	Koridor Tipi	Yönlenme	Günışığı Potansiyeli
Hasta Odası-A	Tek Taraflı koridor	Kuzey	Düşük gün ışığı kazancı
Hasta Odası-B	Çift Taraflı Koridor	Batı	Düşük ama homojen gün ışığı
Hasta Odası-C	Radyal koridor Düzeni	Kuzey	Sabah güneşi ile güçlü doğal ışık
Hasta Odası-D	Çift Taraflı Koridor	Kuzey	Öğleden sonra yüksek ışık ve güneş kazancı
Hasta Odası-E	Çift Taraflı Koridor	Kuzey	Yüksek gün ışığı, atriumdan yansıma ile dengeli dağılım
Hasta Odası-F	Radyal koridor Düzeni	Güney	Yüksek gün ışığı homojen ve konforlu

4.5. Çevresel Etki Değerlendirmesi: Karbon Emisyonu

Enerji tüketim verileri, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda Karbon (CO2) emisyonuna dönüştürülmüştür. Analizlerde Türkiye şebeke elektriği ve doğal gaz emisyon faktörleri kullanılmıştır (Çizelge 4.5). Karbon emisyonu analizleri, enerji verimliliği ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi somutlaştırmaktadır. Senaryo-5 (%40 WWR + Low-E Cam), hem görsel konforu sağlayan hem de karbon ayak izini minimize eden optimum denge noktası olarak öne çıkmaktadır. Standart camlı S2 senaryosuna göre karbon salımını %16.5 oranında azaltması, malzeme seçiminin çevresel etki üzerindeki doğrudan gücünü kanıtlamaktadır.

Çizelge 4.5. Senaryoların HVAC kaynaklı yıllık karbon emisyon değerleri

Senaryo	Tanım	Isıtma (kWh/m²)	Soğutma (kWh/m²)	Toplam HVAC	Karbon Salımı (kg CO2-e/m²)
S1	%20 WWR (Std)	20.77	5.98	26.75	6.82
S2	%40 WWR (Std)	21.86	10.51	32.37	9.04
S3	%60 WWR (Std)	22.38	14.47	36.86	10.89
S4	%20 WWR (Low-e)	20.86	5.26	26.12	6.53
S5	%40 WWR (Low-e)	21.08	7.49	28.57	7.55
S6	%60 WWR (Low-e)	21.21	10.00	31.21	8.68

4.6. Genel Değerlendirme ve Tasarım Rehberi

Analiz sonuçlarına göre, tüm senaryolarda optimum hasta odası Hasta Odası-B2 olarak belirlenmiştir. Bu durum, mekânsal konfigürasyonun enerji performansı üzerindeki belirleyici etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Hasta Odası-B2'nin enerji açısından avantajlı olmasının temel nedenleri şu şekilde özetlenebilir:

- Dış cepheye sınırlı temas eden yüzey alanı
- Koridor ile tamponlanan cephe düzeni
- Doğrudan güneş kazançlarına maruz kalan pencere alanının kontrollü olması
- Isıtma ve soğutma yüklerinin yıl boyunca daha dengeli dağılması

Bu sonuçlar, literatürde koridor tipi ve oda konumunun enerji tüketimini doğrudan etkilediğini belirten çalışmalarla örtüşmektedir. Özellikle köşe odaların ve birden fazla cepheye açılan hasta odalarının, artan kabuk alanı nedeniyle daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğu bilinmektedir (Kazanasmaz, 2012; Tyner, 2012).

Çizelge 4.6. Mekan düzeni ve yapı kabuğu parametrelerinin enerji tüketimine etkisi

Parametre	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Toplam Enerji	Etki Düzeyi
WWR artışı	▲	▲▲	▼	▲	Orta
Low-e cam	▼▼	▼	–	▼▼	Yüksek
Cepheye açılan oda	▲▲	▲	▼	▲▲	Yüksek
Koridorla tamponlanan oda	▼▼	▼	▲	▼▼	Çok Yüksek
Altıncı kat / çatıya yakın konum	▲▲	▲	–	▲▲	Orta–Yüksek
Birinci kat / zemine yakı konum	▼	▼	–	▼	Düşük

Çizelge 4.6, çalışmada incelenen mekânsal düzen ve yapı kabuğu parametrelerinin, bina enerji performansı üzerindeki göreli etkilerini özetlemektedir. Bulgular, hasta odalarının mekânsal organizasyonunun, cam tipi ve saydamlık oranı gibi yapı kabuğu parametrelerinden bağımsız olarak, yıllık toplam enerji tüketimini belirgin biçimde etkilediğini göstermektedir. Özellikle koridorla tamponlanan mekânsal düzenlerin, hastane hasta odalarında enerji etkinliği açısından kritik bir pasif tasarım stratejisi sunduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde; hastane mimarisinde enerji verimliliğinin yalnızca mekanik sistemlerle değil, erken tasarım aşamasında alınan mekânsal karar ve cephe optimizasyonu stratejileriyle yaklaşık %22.5'e varan oranda iyileştirilebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, hastane binalarında enerji verimliliğinin tek bir parametreye indirgenemeyeceği, mekânsal kurgu, cephe tasarımı ve yönelim üçlüsünün bir arada optimize edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında hazırlanan enerji etkin mekânsal tasarım rehberi Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Enerji etkin mekânsal tasarım rehberi

Mekânsal / Tasarım Parametresi	**Analiz Bulgusu (Bu Çalışma)**	**Enerji Performansına Etkisi**	**Tasarım Rehberi / Öneri**	**Literatür ile Uyumu**
Oda Konumu (Tamponlu / Tamponsuz)	Koridor ile tamponlanan B2 tipi odalar, tüm senaryolarda en düşük HVAC yüklerini göstermiştir.	Isıtma ve soğutma yükleri dengelenir, yıllık HVAC azalır.	Hasta odalarının en az bir cephesi koridor veya servis hacmi ile tamponlanmalıdır.	Kazanasmaz (2012); Rafeeq (2021)
Köşe Oda Kullanımı	Köşe ve çok cepheli odalar (C, D, E, F) en yüksek HVAC değerlerine sahiptir.	Artan ısı kaybı ve güneş kazancı nedeniyle enerji tüketimi yükselir.	Merkezi düzen hasta odaları sınırlandırılmalı, zorunlu ise kabuk performansı artırılmalıdır.	Tyner (2012); Zorita vd. (2016)
Cephe Sayısı	Tek cepheli odalar, çok cepheli odalara göre daha düşük HVAC yükleri göstermiştir.	Isıl kontrol daha kolay, yük dalgalanmaları azalır.	Hasta odaları mümkün olduğunca tek cepheli kurgulanmalıdır.	Kazanasmaz (2012)
Saydamlık Oranı (WWR)	WWR arttıkça HVAC yükleri artmıştır; etki mekânsal konuma bağlıdır.	Özellikle soğutma yükleri yükselir.	Saydamlık oranı oda konumuna göre değişken tanımlanmalıdır; tek tip WWR'den kaçınılmalıdır.	Mohammad & Ghosh (2023)
Cam Türü (CLR / LOW-E)	LOW-E cam, tüm senaryolarda HVAC yüklerini düşürmüştür.	Soğutma yükleri baskılanır, enerji dengesi iyileşir.	Yüksek WWR durumlarında LOW-E cam tercih edilmelidir.	ASHRAE (2023); Rafeeq (2021)
Cam Türü–Mekân İlişkisi	LOW-E cam, mekânsal olarak dezavantajlı odaları tek başına telafi edememektedir.	Mekânsal hata, teknoloji ile sınırlı ölçüde düzeltilir.	Önce mekânsal organizasyon, sonra kabuk optimizasyonu yapılmalıdır.	ASHRAE (2023)
Güneş Kazanç Kontrolü	Doğrudan cepheli odalarda soğutma yükleri belirgin artmıştır.	Yaz döneminde aşırı ısınma riski oluşur.	Doğrudan cepheli hasta odalarında gölgeleme ve kontrollü pencere oranı uygulanmalıdır.	Zorita vd. (2016)
Enerji Optimizasyon Yaklaşımı	En düşük HVAC yükleri, mekânsal olarak avantajlı odalarda elde edilmiştir.	Enerji verimliliği tasarım kararlarına bağlıdır.	Hasta odası tasarımında bütüncül (mekân + kabuk + kullanım) yaklaşım benimsenmelidir.	Rafeeq (2021); ASHRAE (2023)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma ve yenilemez enerji kaynaklarındaki kıtlık dünya genelinde enerji verimliliğini zorunlu kılmaktadır. Enerji verimliliğine ilişkin yürütülen çalışmalarda binalardaki enerji tüketiminin azaltılması önemli bir paya sahiptir. Binalar ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma ve havalandırma gibi alanlarda enerji tüketmektedir. Bu alanlarda tüketilen enerji miktarını azaltmak için tasarım ve uygulama aşamasında uygun planlama yapılarak enerji kullanımı optimize edilebilmektedir. Literatürde konut ve ofis binalarında enerji kullanımının yönetilmesine ilişkin çok sayıda nicel araştırma bulunmaktadır. Fakat, son dönemde araştırma alanı enerji kullanımı yoğunluğu nedeniyle kompleks binalara yöneltilmiştir. Özellikle sağlık yapılarının özel konfor koşulları ve sürekli işletim gereksinimleri nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynadığına dikkat çekilmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen yeşil hastane kavramı, enerji verimliliği, iç çevre kalitesi ve çevresel etkilerin azaltılmasını hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ulusal ve uluslararası çalışmalarda, sağlık yapılarında sürdürülebilir tasarım ve işletme stratejilerinin benimsenmesi, çevresel etkilerin azaltılmasının yanı sıra uzun vadeli ekonomik ve sosyal faydalar sağlaması açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de Ankara ili, sahip olduğu kamu ve özel hastane yoğunluğu nedeniyle bu yaklaşımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından dikkat çeken bir bağlam oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Ankara karasal iklim koşullarında yer alan hastane binalarında, hasta odalarının mekânsal düzeni, saydamlık oranı (WWR) ve cam tipi gibi temel mimari tasarım parametrelerinin bina enerji performansı üzerindeki etkileri simülasyon tabanlı yöntemlerle değerlendirilmiştir. Çalışma, enerji tüketimini yalnızca yapı kabuğu üzerinden değil, mekânsal organizasyon kararlarıyla birlikte ele alarak bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Elde edilen bulgular, hasta odalarının cepheyle kurduğu ilişkinin ve koridorla tamponlanma durumunun, ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Koridorla tamponlanmış hasta odası düzeni (B2 tipi), cepheyle doğrudan ilişkili hasta odalarına kıyasla, seçili senaryolar kapsamında, özellikle kış döneminde %25–40 aralığına ulaşarak yıllık enerji tüketiminde anlamlı azalmalar sağlamıştır. Bu sonuç, mekânsal organizasyon kararlarının, yapı kabuğu ve pencere özelliklerinden bağımsız düşünülmemesi gerektiğini ve enerji performansının yalnızca teknik sistem iyileştirmeleriyle değil, mimari planlama kararlarıyla da etkin biçimde yönetilebileceğini ortaya koymaktadır. İç zon konumlanması, dış çevresel etkileri sınırlayarak pasif bir termal tampon işlevi göstermektedir. B2 tipi (koridor arkası) hasta odası, %40 WWR ve low-e kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam kombinasyonu, (S5) Ankara iklimi için minimum yıllık enerji tüketimi sağlayan en uygun tasarım senaryosu olarak belirlenmiştir.

Yapı kabuğu özelinde gerçekleştirilen analizler, saydamlık oranı ve cam tipi seçimlerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini doğrulamakla birlikte, bu parametrelerin etkisinin mekânsal düzenle birlikte ele alındığında daha anlamlı sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Low-e cam kullanımı ve %40 saydamlık oranı senaryosunda elde edilen %29,1 oranındaki enerji tasarrufu, literatürde yapı kabuğu odaklı çalışmalarla uyumlu olmakla birlikte; bu tez kapsamında mekânsal düzen parametreleriyle birlikte değerlendirilerek daha bütüncül bir bağlamda ele alınmıştır.

Çizelge 5.1. Enerji performansı açısından senaryo karşılaştırması

Kriter	**En Verimsiz Senaryo**	**En Verimli Senaryo**	**İyileşme Oranı (%)**
Mekânsal düzen	Hasta odası C ve F	Hasta Odası B2	~40
Cam tipi	Standart cam	Low-e cam	~29
Saydamlık oranı	%60	%40	~18
Toplam enerji tüketimi	—	—	~45–50

Çizelge 5.1’de sunulan karşılaştırmalı sonuçlar, hastanelerde enerji performansını belirleyen en baskın faktörün mekânsal düzen olduğunu göstermektedir. Yapı kabuğu ve pencere sistemlerine yönelik iyileştirmeler önemli kazanımlar sağlamakla birlikte, mekânsal

organizasyonun enerji tüketimi üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, enerji etkin hastane tasarımında mimari planlama kararlarının erken tasarım aşamasında ele alınmasının kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Tez çalışmasında yapılan enerji tüketim izlemesine göre; farklı dikey konum etkilerine ve koridor düzenlerine sahip hasta odası birimlerinin enerji tüketim davranışları değişkenlik göstermiştir. Pencere sistemlerinde yapılacak değişiklikler hasta odası birimlerinin enerji tüketim miktarını duruma göre hem pozitif hem de negatif yönlü değiştirmiştir. Hasta odası birimlerinden kuzey yönündeki hasta odaları ile güney yönündeki hasta odalarının enerji tüketim miktarlarının birbirinden farklı enerji taleplerine sahip olduğu görülmüştür. Güney yönünde bulunan hasta odası birimlerinin kuzey yönündekilere göre daha az enerji tükettiği görülmektedir.

Saydamlık oranına ilişkin analizler, %20, %40 ve %60 WWR senaryolarının enerji yükleri üzerinde farklı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. %20 WWR senaryosu, ısıtma yükleri açısından daha avantajlı sonuçlar üretirken yapay aydınlatma yükleri artmaktadır; %60 WWR senaryosunda ise, özellikle yaz döneminde soğutma yüklerinde belirgin artışlar gözlenmiştir. Isıtma ve soğutma yüklerinin birlikte değerlendirildiği durumda toplam yıllık enerji tüketimi açısından, %40 WWR senaryosunun, seçili koşullar altında en dengeli sonuçları sunduğu görülmüştür. Bu bulgu, optimum saydamlık oranının tekil bir değer olarak değil, yüklerin dengelenmesi üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Saydamlık oranı (WWR), enerji performansı üzerinde doğrusal olmayan “eşik” etkisi üretmektedir. WWR’nin %20’den %40’a yükselmesi kontrollü bir artış yaratırken, saydamlık oranının %40 üzerine çıkartılması hem ısıtma hem soğutma yüklerinde doğrusal olmayan artışlara neden olmuştur. Bu sonuç, literatürde nadiren vurgulanan kritik bir gerçekle örtüşmektedir: yüksek WWR, iyileştirilmiş cam sistemleri kullanılsa bile, enerji dengesini değiştiren baskın bir parametredir.

Cam tipi karşılaştırmaları, low-e kaplamalı cam sistemlerinin, standart çift camlara kıyasla tüm WWR oranlarında daha düşük toplam enerji tüketimi sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle yüksek saydamlık oranına sahip (%60 WWR) senaryolarda low-e cam

kullanımının, aşırı ısı kazançlarını sınırlayarak soğutma yüklerini anlamlı düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Bu durum, yüksek saydamlık oranına sahip tasarımlarda cam teknolojisinin belirleyici rolünü açıkça göstermektedir. Güneş ısı kazançları, ısıtma yüklerini azaltmakla birlikte soğutma yüklerini artırmaktadır. Kış döneminde güney cepheli odalarda solar kazançlar ısıtma gereksinimini %20–22 oranında azaltırken, yazın aynı odalarda soğutma yükü %30–35 oranında yükselmiştir. Bu çift yönlü etki, pencere tasarımında iklimsel ve mekânsal kurgunun kritik önemini göstermektedir. Low-e veya yüksek performanslı camlar ısı kaybını azaltsa bile, mekânsal konumdan kaynaklanan ısı iletim ve solar yük asimetrisi bu kazanımların bir kısmını sınırlandırmaktadır.

Yönelim etkisi incelendiğinde, güney yönelimli hasta odalarının, kuzey yönelimli birimlere kıyasla daha düşük yıllık enerji tüketimi sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, Ankara ikliminde güneş kazançlarının ısıtma yüklerini azaltıcı etkisinin, soğutma yüklerindeki artıştan daha baskın olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla hasta odalarının enerji tüketimi üzerindeki cephe yönelimi ve iklim etkisini ispatlamaktadır. Operatif sıcaklık analizleri de, mekânsal konumun konfor üzerindeki etkisini doğrulamıştır. Dışa dönük odalarda yaz döneminde operatif sıcaklık 26–27 °C'ye ulaşırken, tampon bölge arkasındaki (B2 tipi) odalarda bu değerler 24–25 °C bandında tutulmuştur. Bu fark, enerji tüketimi kadar konfor kalitesinin de mekân-morfoloji ilişkisine bağlı olduğunu göstermektedir.

Aydınlatma yükünü dengelemek için görsel konfor ile soğutma yükü arasındaki ilişkinin kalibre edilmesi gerektirmektedir. VT değeri yüksek camlarla günışığı arttığında aydınlatma yükü %12–16 azalırken, soğutma yüklerinde kayda değer artışlar gözlenmiştir. Bu bulgu, hastane mimarisinde günışığının yalnızca konfor bağlamında değil, termal yük bağlamında da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması, hasta odalarının enerji performansını mekânsal düzen, pencere sistemleri ve saydamlık oranı değişkenlerini bütüncül bir yaklaşım ile analiz etmiştir. DesignBuilder ve EnergyPlus tabanlı dinamik simülasyon modeli kullanılarak yürütülen analizler, kompleks binalarda enerji performansının çok katmanlı ve doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu kanıtlamıştır. Araştırma bulguları, hem literatürde büyük ölçüde

eksik olan mekân düzeni, yapı kabuğu ve enerji ilişkisini görünür kılmakta hem de hastane tasarım kararlarını doğrudan etkileyebilecek güçlü çıkarımlar sunmaktadır.

Hasta odası ölçeğinde mekânsal düzen ile pencere sistemi arasındaki ilişki, literatürde ilk kez bu kadar kapsamlı biçimde dinamik simülasyonlarla modellenmiştir. WWR, SHGC ve mekânsal konum etkileşiminin yıllık enerji dengesi üzerindeki kompleks etkileri kavramsal olarak tanımlanmıştır. Zon bazlı hassasiyet analizi uygulanmış; cam tipi, WWR ve mekânsal konumun enerji yüklerine etkisi hem özel hem de bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Mekânsal tamponlama etkisi hasta odaları bağlamında nicel olarak belgelenmiştir. Mimarlar, mekanik tasarımcılar ve planlamacılar için kullanılabilecek, iklim temelli pencere optimizasyon rehberi üretilmiştir. Simülasyon sonuçları, Türkiye'nin karasal iklim koşullarına özgü enerji tasarım parametrelerini tanımlar niteliktedir. Dış cepheye doğrudan maruz kalan hasta odası sayısı azaltılmasının; koridor veya servis birimleri tampon bölge olarak kullanılmasının ve kuzey cephe yoğunluğunun azaltılmasının; binanın yıllık enerji tüketimi üzerinde pozitif etki yaratacağı ispatlanmıştır.

WWR %20–40 bandı optimum olduğu ve %40 üzeri WWR'de hem soğutma hem ısıtma yüklerinin hızla arttığı ortaya konmuştur. Low-e kaplamalı çift cam sisteminin, Ankara iklimi için en dengeli çözüm olduğu görülmüştür. SHGC değeri yazın düşük, kışın orta seviyede olmalıdır. Sabit yüksek SHGC, soğutma yüklerini kontrolsüz şekilde arttırmaktadır. Bu nedenle, VT değerinin 0.45-0.60 aralığında seçilmelidir. Bu aralık hem aydınlatma ihtiyaçlarını azaltmaktadır hem de soğutma cezasını sınırlı tutmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, simülasyon doğruluğu arttırılarak güneş kırıcı tasarımlarının parametrik etkisi; sabit, hareketli veya adaptif sistemlerin test edilmesinin enerji performansına etkisi incelenebilir. Gerçek zamanlı kullanım davranışlarının modele entegrasyonu eklenebilir. Perde kullanımı, pencere açma davranışı, ekipman yükleri gibi faktörler simülasyona dahil edilerek daha detaylı analiz oluşturulabilir. Daha geniş tipoloji çeşitliliği (ameliyathaneler, yoğun bakım, poliklinik zonları) işlenerek farklı mekânların enerji hassasiyetleri karşılaştırılabilir. Ankara (BSk) iklimi için geçerli olan tampon bölge stratejisinin; İzmir (Ilıman-Nemli) veya Erzurum (Soğuk) gibi farklı iklim kuşaklarındaki

hastane tipolojilerinde nasıl bir performans göstereceği karşılaştırmalı olarak incelenebilir. Sadece enerji tüketimi değil; kamaşma indeksi (DGP), ilk yatırım maliyeti ve karbon ayak izinin eş zamanlı olarak optimize edildiği çok kriterli algoritmalar kullanılabilir.

Sonuç olarak bu çalışma, hastane binalarında hasta odası ölçeğinde alınan mekânsal kararların, yapı kabuğu parametreleriyle birlikte ele alındığında, enerji performansını belirlemede kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında mekânsal düzen, saydamlık oranı ve cam tipi kararlarının birlikte değerlendirilmesinin, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik etkili bir strateji sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, hastane binalarında enerji etkin tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Bu tez çalışmasının özgün katkıları aşağıda aktarılmaktadır:

- Bu çalışma, literatürde çoğunlukla bina veya sistem ölçeğinde ele alınan hastane enerji performansı konusunu, hasta odası ölçeğinde ve mekânsal düzen odağında inceleyerek mikro ölçekte özgün bir değerlendirme yaparak mimari tasarım kararlarının enerji tüketimi üzerindeki etkilerini nicel olarak ortaya koymuştur.
- Yapı kabuğu parametreleri (saydamlık oranı ve cam tipi) ile mekânsal düzen kararları, literatürde genellikle ayrı başlıklar altında incelenirken; bu tez kapsamında söz konusu parametreler birlikte ve parametrik olarak değerlendirilmiş, aralarındaki etkileşimler bütüncül bir simülasyon kurgusu içinde değerlendirilmiştir.
- Hastane binalarında sıkça kullanılan farklı hasta odası konumlanmaları (iç zon, dış zon ve köşe tipleri), enerji performansı açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; özellikle koridorla tamponlanmış mekânsal düzenlerin, ısıtma yükleri üzerindeki pasif etkisi ifade edilmiştir. Tampon bölge etkisinin hasta odalarının yıllık enerji tüketimini %25–40 oranında azaltabildiği gösterilmiştir.
- Saydamlık oranına ilişkin bulgular, düşük, orta ve yüksek WWR değerlerinin ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki farklı etkilerini ortaya koyarak, optimum saydamlık oranının tekil bir değer olarak değil, yüklerin dengelenmesi yaklaşımıyla değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

- Ankara karasal iklimi için hasta odaları özelinde optimum WWR (%40) ve cam tipi (Low-E kaplamalı argon gazı dolgulu çift cam) kombinasyonu net biçimde tanımlanmış ve tasarımcılar için uygulanabilir bir karar seti sunulmuştur.
- Çalışma kapsamında geliştirilen parametrik simülasyon matrisi, farklı iklim bölgeleri ve hastane tipolojileri için uyarlanabilir bir metodolojik çerçeve sunarak, ileride yapılacak akademik çalışmalara altyapı oluşturmaktadır.
- Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, yalnızca enerji tüketim değerlerini sunmakla kalmayıp, bu değerleri mimari tasarım kararlarıyla doğrudan ilişkilendiren analitik bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım, mimarların erken tasarım aşamasında enerji performansını öngörebilmesine yönelik uygulamaya dönük bir tasarım rehberi niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

A. A., Gomaa, M. M., Noaime, E., Alnaim, M. M., Alghaseb, M., & Ragab, A. (2023). Investigating the Thermal and Energy Performance of Advanced Glazing Systems in the Context of Hail City, KSA. Buildings, 13.

Ahmed, A. E., Suwaed, M. S., Shakir, A. M., & Ghareeb, A. (2023). The impact of window orientation, glazing, and window-to-wall ratio on the heating and cooling energy of an office building: The case of hot and semi-arid climate. Journal of Engineering Research.

Ahmed, T., Rajagopalan, P., & Fuller, R. (2017). Experimental validation of an energy model of a day surgery/procedure centre in Victoria. Journal of Building Engineering, 10, 1-12.

Akande, O. K., Odeleye, D., Coday, A., & Bescos, C. (2016). Performance evaluation of operational energy use in refurbishment, reuse, and conservation of heritage buildings for optimum sustainability. Frontiers of Architectural Research, 5(3).

Algburi, O., & Beyhan, F. (2019). Cooling Load Reduction in a Single–Family House, an Energy–Efficient Approach. Gazi University Journal of Science, 385-400.

Alghoul, S. K., Rijabo, H. G., & Mashena, M. E. (2017). Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya. Journal of Building Engineering, 82-86.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Al-Habaibeh, A., Hawas, A., Hamadeh, L., Medjdoub, B., Marsh, J., & Sen, A. (2022). Enhancing the sustainability and energy conservation in heritage buildings: The case of Nottingham Playhouse. Frontiers of Architectural Research, 11, 142-160.

Almodovar-Melendo, J.-M., Cabeza-Lainez, J.-M., & Rodriguez-Cunill, I. (2018). Lighting Features in Historical Buildings: Scientific Analysis of the Church of Saint Louis of the Frenchmen in Sevilla. Sustainability, 10(9).

Ansari, M. A. (2014). Health by Design: A Patient Centered Approach in Moradabad.

Arkan Demirörs, T. (2023). Silika İçerikli Aerojelin Sol-Jel Yöntemi ile Sentezlenmesi ve Mimari Yapı Malzemesinin Performansının Geliştirilmesi. (Yayınlanmamış Doktora/Yüksek Lisans Tezi).

ASHRAE. (2023). Advanced Energy Design Guide for Large Hospitals (50% Energy Savings).

Aydın, Ö. (2019). Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. Mimarlık ve Yaşam, 4(1), 55-68.

Bagnasco, A., Catanzariti, R., Coppi, L., Fresi, F., Silvestro, F., & Vinci, A. (2017). Multi facility energy monitoring in medical structures: Defining KPIs for energy saving and exporting best practices. International Journal of Heat and Technology, 35.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Balvedi, B. F., Ghisi, E., & Lamberts, R. (2018). A review of occupant behavior in residential buildings. Energy and Buildings, 174, 495-505.

Bay, E., Martinez-Molina, A., & Dupont, W. A. (2022). Assessment of natural ventilation strategies in historical buildings in a hot and humid climate using energy and CFD simulations. Journal of Building Engineering, 51, 104287.

Bayar, M. (1994). Hasta ve Muayene Odalarının Görsel Konfor Koşulları Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bayraç, H. (2009). Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğalgaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(1), 115-142.

Bektaş, B., & Aksoy, U. (2005). Soğuk iklimlerdeki binalarda pencere sistemlerinin enerji performansı. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 499-508.

Berardi, U. (2015). The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting project. Applied Energy, 154, 603-615.

Bjørnskov, J., Jradi, M., & Veje, C. (2022). Component-level re-commissioning of a newly retrofitted Danish healthcare building. Journal of Building Engineering, 51, 104277.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Buratti, C., & Moretti, E. (2012). Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems. Applied Energy, 97, 430-437.

Calama-González, C. M., León-Rodríguez, A. L., & Suárez, R. (2018). Daylighting and Energy Performance Evaluation of an Egg-Crate Device for Hospital Building Retrofitting in a Mediterranean Climate. Sustainability, 10, 2714.

Calama-González, C. M., León-Rodríguez, A. L., & Suárez, R. (2019). Daylighting Performance of Solar Control Films for Hospital Buildings in a Mediterranean Climate. Energies, 12, 489.

Capozzoli, A., Piscitelli, M. S., Neri, F., Grassi, D., & Serale, G. (2016). A novel methodology for energy performance benchmarking of buildings by means of Linear Mixed Effect Model: The case of space and DHW heating of out-patient Healthcare Centres. Applied Energy, 171, 592-607.

Cesari, S., Valdiserri, P., Coccogna, M., & Mazzacane, S. (2018). Energy savings in hospital patient rooms: the role of windows size and glazing properties. Energy Procedia, 148.

Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Chen, Y., Setunge, S., & Shi, L. (2021). The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 45, 101212.

De Masi, R. F., Gigante, A., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2020). The impact of weather data sources on building energy retrofit design: case study in heating-dominated climate of Italian backcountry. 264-284.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Devlin, A., & Arneill, A. (2003). Health care environments and patient outcomes: A review of the literature 2003. Environment and Behavior, 35, 665-694.

Douglass, C. D. (2011). Instructional Modules Demonstrating Building Energy Analysis Using a Building Information Model. (Yüksek Lisans Tezi). University of Illinois at Urbana-Champaign.

Du, X., Zhang, Y., Lv, X., & Zhang, Y. (2020). The effect of window-to-wall ratio on energy consumption in different climate zones in China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Er, A. (2020). Soğuk İklim Bölgelerindeki Mevcut Konut Yapılarının Enerji Performansının Arttırılmasına Yönelik Bir Araştırma: Erzurum'da Bir Toplu Konut Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdal, L., & Karakaya, E. (2012). Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Ekonomik, Siyasi Faktörler. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 107-136.

Ferreira, M., Almeida, M., Rodrigues, A., & Silva, S. M. (2016). Comparing cost-optimal and net-zero energy targets in building retrofit. Building Research & Information, 44(2), 188-201.

Fifield, L. J., Lomas, K. J., Giridharan, R., & Allinson, D. (2018). Hospital wards and modular construction: Summertime overheating and energy efficiency. Building and Environment, 141, 28-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Fiorini, C. V., Belloni, E., Merli, F., Anderson, A. M., Carroll, M., & Buratti, C. (2023). Glazing System with thin monolithic aerogel: Optical, thermal, and color rendering performance. Energy and Buildings, 288.

Fraile, J. C., San-José, J., & González-Alonso, A. (2014). A Boiler Room in a 600-Bed Hospital Complex: Study, Analysis, and Implementation of Energy Efficiency Improvements. Energies, 7, 3282-3303.

Gao, T., Ihara, T., Grynning, S., Jelle, B. J., & Lien, A. G. (2016). Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. Building and Environment, 95, 405-413.

Garnier, C., Muneer, T., & McCauley, L. (2015). Super insulated aerogel windows: Impact on daylighting and thermal performance. Building and Environment, 94.

Giridharan, R., Lomas, K. J., Short, C. A., & Fair, A. J. (2013). Performance of hospital spaces in summer: A case study of a 'Nucleus'-type hospital in the UK Midlands. Energy and Buildings, 66, 315-328.

Gomes, M. G., Rodrigues, A. M., & Natividade, F. (2021). Thermal and energy performance of medical offices of a heritage hospital building. Journal of Building Engineering, 40, 102349.

Gürel, A. E., & Daşdemir, A. (2011). Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(4), 346-353.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Hashempour, N., Taherkhani, R., & Mahdikhani, M. (2020). Energy performance optimization of existing buildings: A literature review. Sustainable Cities and Society, 54.

Hong, T., Jeong, K., Ji, C., & Hoon, Y. (2018). Energy Performance and Control of HVAC Systems in Hospitals: A Case Study of a Large Teaching Hospital. Energy and Buildings.

Huang, Y., & Niu, J. L. (2015). Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong. Construction and Building Materials, 94, 57-72.

Isaia, F., Fiorentini, M., Serra, V., & Capozzoli, A. (2021). Enhancing Energy Efficiency and Comfort in Buildings Through Model Predictive Control for Dynamic Facades with Electrochromic Glazing. Journal of Building Energy, 43.

Iwetaishi, M., & Benjeddou, O. (2021). Impact of Window to Wall Ratio on Energy Loads in Hot Regions: A Study of Building Energy Performance. Energies.

Jiménez Mejía, K., Barbero-Barrera, M. M., & Rodríguez Pérez, M. (2020). Evaluation of the Impact of the Envelope System on Thermal Energy Demand in Hospital Buildings. Buildings, 10, 250.

Kassai, M. (2019). Energy Performance Investigation of a Direct Expansion Ventilation Cooling System with a Heat Wheel. Energies, 12, 4267.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Kheiri, F. (2013). The Relation of Orientation and Dimensional Specifications of Window with Building Energy Consumption in Four Different Climates of Köppen Classification. Researcher, 5, 107-115.

Kılkış, B. (2014). Energy consumption and CO2 emission responsibilities of terminal buildings: A case study for the future Istanbul International Airport. Energy and Buildings, 76, 109-118.

Kim, S. C., Shin, H. I., & Ahn, J. (2020). Energy performance analysis of airport terminal buildings by use of architectural, operational information and benchmark metrics. Journal of Air Transport Management, 83, 101762.

Lamy-Mendes, A., Pontinha, A., Alves, P., Santos, P., & Duraes, L. (2021). Progress in silica aerogel-containing materials for buildings thermal energy. Construction and Building Materials.

Liu, H., Tian, Y., Liu, J., Zhang, D., Wu, X., & Li, Z. (2023). Performance analysis of solar drying system with sunlight transparent thermally insulating aerogels. Energy, 269.

Lolli, N., & Andresen, I. (2016). Aerogel vs. argon insulation in windows: A greenhouse gas emissions analysis. Building and Environment, 101, 64-76.

Lomas, K., Giridharan, R., Short, C., & Fair, A. (2012). Resilience of 'Nightingale' hospital wards in a changing climate. Building Services Engineering Research and Technology, 33(1), 81-103.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Maria, E., & Michael, A. (2020). Assessment of daylight performance and the impact of shading devices for typical in-patient rooms in healthcare facilities in Cyprus. Procedia Manufacturing, 44, 277-285.

Miller, H. (2010). Patient Rooms: A Changing Scene of Healing Research Summary.

Mohammad, A. K., & Ghosh, A. (2023). Exploring energy consumption for less energy-hungry building in UK using advanced aerogel window. Solar Energy, 253, 389-400.

Moretti, E., Belloni, E., Merli, F., Zinzi, M., & Buratti, C. (2019). Laboratory and pilot scale characterization of granular aerogel glazing systems. Energy and Buildings, 202.

Nasif, M. S., & Al-Waked, R. (2014). Seasonal weather conditions effect on energy consumption and CO2 emission for air conditioning systems coupled with enthalpy energy recovery heat exchanger. APCBEE Procedia, 42-48.

Neufert, E. (2017). Yapı Tasarımı. Ankara: Beta Yayıncılık.

Öcel, N. (1988). Hastane Odalarında Enerji Tasarrufu Öngörülerek Aydınlatma Sisteminin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özil, E. (2008). Hasta Yatak Odalarında Görsel Konfor Koşullarının Örneklerle İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Pandey, B., Banerjee, R., & Sharma, A. (2021). Coupled EnergyPlus and CFD analysis of PCM for thermal management of buildings. Energy and Buildings, 231.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40, 394-398.

Pu, J. H., Zhao, Y., Tang, G. H., Du, M., Ren, X., & Yu, X. (2023). Dynamic aerogel window with switchable solar transmittance and low haze. Energy, 285.

Sadooghi, P. (2022). HVAC electricity and natural gas saving potential of a novel switchable window compared to conventional glazing systems: A Canadian house case study in city of Toronto. Solar Energy, 231, 129-139.

Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T., & Livada, I. (2017). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar Energy, 154, 14-33.

Sayadi, S., Hayati, A., & Salmanzadeh, M. (2021). Optimization of Window-to-Wall Ratio for Buildings Located in Different Climates: An IDA-Indoor Climate and Energy Simulation Study. Energies, 14(7).

Sciurpi, F., Carletti, C., Cellai, G., & Pierangioli, L. (2015). Environmental monitoring and microclimatic control strategies in “La Specola” museum of Florence. Energy and Buildings, 95, 190-201.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Siriwardena, M., Ruparathna, R., Amaratunga, D., & Arambepola, S. (2019). Factors influencing the energy efficiency of hospitals: A case of Sri Lanka. Sustainable Cities and Society, 565-575.

Somasundaram, S., Thangavelu, S. R., & Chong, A. (2020). Improving Building Efficiency Using Low-e Coating Based Retrofit Double Glazing with Solar Films. Applied Thermal Energy, 171.

Şengel Çelik, H. (2022). Sağlık Yapılarındaki Hasta Odalarında Doğal Aydınlatmanın Yeterliliğinin İncelenmesi: Gazi Üniversitesi Hastanesi Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Ulusal Hesaplama Metodolojisi Rehberleri.

Tekin, Ç., Özgünler, M., & Beyaztaş, H. (2018). Yapı kabuğu Saydamlılık Oranlarının Simülasyon Programı Aracılığıyla Belirlenmesi. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 49-68.

Umaroğulları, F., & Kartal, S. (2005). Binalarda Kullanılan Yüksek Teknoloji Ürünü Saydam Elemanların Isıl ve Optik Özellikleri. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 87.

Ünalan, H. (2016). Eskişehir İklim Koşullarında Ofis Binaları İçin Isıtma. (Doktora Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Vollaro, R., Guattari, C., Evangelisti, L., Battista, G., Carnielo, E., & Gori, P. (2015). Building energy performance analysis: A case study. Energy and Buildings, 87, 87-94.

Wang, T., Si, Q., Hu, Y., Tang, G., & Chua, K. J. (2023). Silica aerogel composited with both plasmonic nanoparticles and opacifiers for high-efficiency photo-thermal harvest. Energy, 265.

WHO & HCWH. (2019). Health Care's Climate Footprint: How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action.

Yaman, G. Ö. (2021). Binaların Pencere/Duvar Oranı ve Yönlenme Parametrelerinin Güneş Enerjisi Kazancına Etkisi. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 425-441.

Yıldız, O. F., Yılmaz, M., & Çelik, A. (2022). Reduction of energy consumption and CO2 emissions of HVAC system in Airport Terminal Buildings. Building and Environment.

Yıldız, Y., Göksal Özbalta, T., & Durmuş Arsan, Z. (2011). Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir. Megaron, 6(1).

Yuan, F., Yao, R., Sadrizadeh, S., Li, B., Cao, G., Zhou, S., ... & Short, C. A. (2022). Thermal comfort in hospital buildings – A literature review. Journal of Building Engineering, 45, 10346.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Zaza, P. N., Sepetis, A., & Bagos, P. G. (2022). Prediction and Optimization of the Cost of Energy Resources in Greek Public Hospitals. Energies, 15, 381.

Zhang, S., Hu, W., Li, D., Zhang, C., Arıcı, M., Yıldız, Ç., ... & Ma, Y. (2021). Energy efficiency optimization of PCM and aerogel-filled multiple glazing windows. Energy, 222.

Zorita, A. L., Fernández-Temprano, M. A., García-Escudero, L. A., & Duque-Perez, O. (2016). A statistical modeling approach to detect anomalies in energetic efficiency of buildings. Energy and Buildings, 110, 377-386.