

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ NEDENİYLE ÜNİVERSİTE BİNALARINDA
OLUŞAN AŞIRI ISINMANIN AZALTILMASININ ARAŞTIRILMASI**

TANER ZAFER TAKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. İsmail CANER (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Ahmet Çağrı KILINÇ
Dr. Öğr. Üyesi Veli Gökhan DEMİR

BALIKESİR, ŞUBAT - 2026

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**İklim Değişikliği Nedeniyle Üniversite Binalarında Oluşan Aşırı Isınmanın Azaltılmasının Araştırılması**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Taner Zafer TAKMAZ

ÖZET

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ NEDENİYLE ÜNİVERSİTE BİNALARINDA OLUŞAN
AŞIRI ISINMANIN AZALTILMASININ ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TANER ZAFER TAKMAZ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. İSMAİL CANER)**

BALIKESİR, ŞUBAT - 2026

İklim değışikliği, küresel ölçekte artan sıcaklıklar ve sıklaşan sıcak hava dalgaları nedeniyle binalarda aşırı ısınma riskini giderek artırmaktadır. Bu durum, özellikle uzun süreli ve yoğun kullanıma sahip üniversite binalarında kullanıcı sağlığı, termal konfor ve enerji tüketimi açısından önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında, iklim değışikliği etkisi altında üniversite binalarında oluşan aşırı ısınmanın azaltılmasına yönelik pasif tasarım stratejileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında Balıkesir Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi binası referans alınarak detaylı bir bina enerji modeli oluşturulmuş ve model gerçek enerji tüketim verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Analizlerde mevcut iklim koşullarına ait verilerin yanı sıra 2030, 2050 ve 2100 yıllarını temsil eden gelecek iklim senaryoları kullanılmıştır. Bu sayede, sıcaklık artışları ve güneş radyasyonundaki değışimlerin bina iç ortam sıcaklıkları ve aşırı ısınma süreleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aşırı ısınma analizlerinde 26°C, 27°C, 30°C ve 32°C eşik sıcaklık değerleri esas alınmıştır. Ayrıca sabit güneş kırıcılar, stor perdeler ve jaluzi sistemleri olmak üzere üç farklı gölgeleme stratejisinin bina enerji tüketimi ve termal konfor üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, iklim değışikliğiyle birlikte özellikle yaz döneminde aşırı ısınma sürelerinin belirgin biçimde arttığını ve gece sıcaklıklarındaki yükselmenin doğal soğutma potansiyelini azalttığını göstermektedir. Gölgeleme elemanlarının uygulanması, iç ortam sıcaklıklarını düşürerek aşırı ısınma süresini azaltmış; dış cepheye uygulanan sabit güneş kırıcıların diğer sistemlere kıyasla daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, üniversite binalarında iklim değışikliğine uyumlu, pasif tasarım odaklı çözümlerin benimsenmesi enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Aşırı ısınma, bina enerji performansı, gölgeleme sistemleri, iklim değışikliği.

Bilim Kod / Kodları : 91408

Sayfa Sayısı :35

ABSTRACT

INVESTIGATION OF REDUCING OVERHEATING IN UNIVERSITY BUILDINGS DUE TO CLIMATE CHANGE

MSC THESIS

TANER ZAFER TAKMAZ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. ISMAIL CANER)

BALIKESİR, FEBRUARY - 2026

Climate change has led to increasing temperatures and more frequent heatwaves, significantly raising the risk of overheating in buildings. This issue is particularly critical in university buildings, where long-term and intensive occupancy can negatively affect occupants' health, thermal comfort, and energy consumption. This thesis investigates the effectiveness of passive design strategies in reducing overheating in university buildings under the impact of climate change. Within the scope of the study, a detailed building energy model was developed for the Sports Sciences Faculty building of Balıkesir University and calibrated using actual energy consumption data. The analyses were conducted using both current climate data and future climate scenarios representing the years 2030, 2050, and 2100. In this way, the impacts of rising air temperatures and changes in solar radiation on indoor thermal conditions and overheating durations were evaluated comparatively. Overheating assessments were performed based on commonly used threshold temperatures of 26°C, 27°C, 30°C, and 32°C. In addition, the effects of three different shading strategies—fixed solar shading devices, roller blinds, and louver systems—on building energy consumption and thermal comfort were analyzed. The results indicate that, with climate change, overheating durations increase significantly, particularly during the summer period, while rising nighttime temperatures reduce the potential for natural cooling. The application of shading devices was found to lower indoor temperatures and reduce overheating hours. Among the evaluated strategies, fixed external shading devices were identified as the most effective solution compared to the other systems. Overall, the findings demonstrate that adopting climate-resilient, passive design-oriented solutions in university buildings is a critical requirement for improving energy efficiency and ensuring occupant thermal comfort under future climate conditions.

KEYWORDS: Overheating, building energy performance, shading systems, climate change

Science Code / Codes : 91408

Page Number : 35

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür araştırması	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi ve Modellenmesi	8
2.2 Balıkesir ili İklim Verileri.....	9
2.3 Gölgeleme Ekipmanları	11
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	14
3.1 Mevcut Bina Modelinin Analizi	14
3.2 İklim verilerinin analizi	16
3.3 Bina enerji tüketiminin farklı güneş kırıncılara göre analizi	21
3.4 Bina toplam aşırı ısınma saatleri.....	22
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	27
5. KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye’de enerjinin sektörel dağılımı	1
Şekil 2.1: Çalışmanın adımları.....	7
Şekil 2.2: Spor bilimleri fakültesi genel görünüş.....	8
Şekil 2.3: Köppen-Geiger iklim haritası	9
Şekil 2.4: 2024 yılına ait Balıkesir ili iklim verileri.....	10
Şekil 2.5: 2024 yılı güneş radyasyon verileri (W/m ²).....	11
Şekil 2.6: Bazı sabit güneş kırıcı örnekleri	12
Şekil 2.7: Bazı dış cephe jaluzi güneş kırıcı uygulama örnekleri	13
Şekil 3.1: DesignBuilder bina modeli ve HVAC sistemi.....	15
Şekil 3.2: Spor bilimleri fakültesi enerji tüketim verileri	15
Şekil 3.3: Spor bilimleri fakültesi seçilen sınıflar	16
Şekil 3.4: Mevcut ve 2100 yılına ait sıcaklık haritalarının karşılaştırılması.....	17
Şekil 3.5: Mevcut döneme ait güneş radyasyonu dağılımı	19
Şekil 3.6: 2100 yılına ait güneş radyasyonu dağılımı.....	19
Şekil 3.7: Mevcut döneme ait sıcaklık grafiği	20
Şekil 3.8: 2100 yılına ait sıcaklık dağılımı.....	21
Şekil 3.9: Güneş kırıcıların enerji tüketimine etkisinin incelenmesi	22

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Türkiye’de bazı sektörlerde enerjinin sektörel dağılımı	2
Tablo 2.1: Türkiye’de bulunan bazı şehirlerin maksimum ve minimum sıcaklık değerleri ve iklim sınıfları.....	10
Tablo 2.2: Güneş kırıcılarına ait fiziksel parametreler	13
Tablo 3.1: Referans yıl ve referans binaya ait aşırı ısınma süreleri.....	22
Tablo 3.2: 2030 yılı için aşırı ısınma süreleri	23
Tablo 3.3: 2050 yılı için aşırı ısınma süreleri	24
Tablo 3.4: 2100 yılı için aşırı ısınma süreleri	25

SEMBOL LİSTESİ

ACH	: Saatlik hava değişimi (m^3/h)
BEPS	: Bina Enerji Performans Simülasyonu
CDD	: Soğutma derece-gün değeri (Cooling Degree Days)
EPW	: İklim veri dosyası (EnergyPlus Weather file)
EPBD	: Binaların Enerji Performans Direktifi
EUI	: Toplam enerji tüketimi ($kWh.m^2/yıl$)
GB	: Güney-batı cephe
GS	: Güneş radyasyonu (W/m^2)
KD	: Kuzey-doğu cephe
PMV	: Tahmini ortalama oy (Predicted Mean Vote)
PPD	: Tahmini memnuniyetsiz oranı (Predicted Percentage of Dissatisfied)
m^3	: Metreküp
m^2	: Metrekare
OPT	: Operatif sıcaklık
SHGC	: Güneş ısı kazanç katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient)
T_a	: Dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_i	: İç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{max}	: Maksimum iç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
U	: Isı geçiş katsayısı (W/m^2K)
ΔT	: İ ve dış ortam sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yapıcı eleştirileriyle bana yol gösteren; akademik bakış açımı geliştirmemde önemli katkılar sunan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi İsmail CANER' e, sabrı, anlayışı ve özverili rehberliği için en içten saygı ve şükranlarımı sunarım. Çalışmanın şekillenmesinde ve bilimsel niteliğinin artmasında sağladığı değerli katkılar, bu tezin ortaya çıkmasında belirleyici olmuştur.

Çalışmalarım süresince karşılaştığım tüm zorluklarda maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiren, anlayışı, sabrı ve fedakârlıklarıyla bu süreci benimle birlikte omuzlayan sevgili eşim Nurdan PEKYILMAZ TAKMAZ' a; varlığıyla hayatıma anlam katan ve en büyük motivasyon kaynağım olan biricik oğlum Mete TAKMAZ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, beni bugünlere getiren, her zaman desteklerini hissettiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

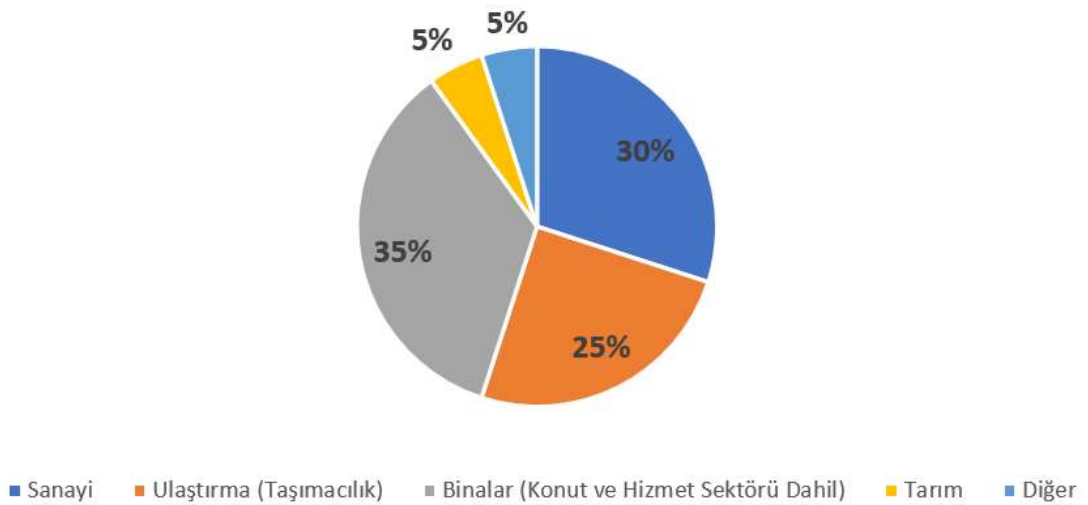
Balıkesir, 2026

Taner Zafer Takmaz

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte artan sera gazı emisyonları, atmosferdeki ısınmayı hızlandırmakta ve bu durum dünyanın birçok bölgesinde sıcaklıkların tarihsel ortalamaların üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Son yıllarda soğuk iklim kuşaklarında bile sıcaklık artışları küresel ortalamanın yaklaşık iki katı seviyelerinde gerçekleşmiş, çeşitli coğrafyalarda rekor sıcaklıklar kaydedilmiştir. Bilimsel öngörüler, 2080’li yıllara gelindiğinde Avrupa’daki pek çok başkentte yaz mevsimi zirve sıcaklıklarının 10°C’ye kadar artabileceğini, sıcak gecelerin ise giderek daha yaygın hale geleceğini göstermektedir. Artan sıcak hava dalgaları özellikle yaşlılar, kronik hastalığı bulunanlar ve sosyoekonomik açıdan kırılgan gruplar için ciddi sağlık riskleri oluşturmaktadır. Avrupa Çevre Ajansı verilerine göre sıcaklıktaki her 1°C artışın mortalite riskini yükselttiği; yüzyılın sonuna kadar aşırı sıcaklık kaynaklı erken ölümlerin on binler seviyesine ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Ahmad et al., 2021).

Bu durum binaların rolünü daha da kritik hale getirmiştir. Zira binalar yalnızca iklim değişikliğini tetikleyen yüksek enerji tüketiminin yaklaşık %40’ından sorumlu olmakla kalmamakta, aynı zamanda iklim değişikliğinin sonuçlarından da doğrudan etkilenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre dünya genelinde tüketilen enerjinin %40’ı bina sektöründen kaynaklanırken, Türkiye’de bu oran %35 civarındadır (Şekil 1.1). Türkiye özelinde, bu tüketimin yaklaşık %13’ü okul binalarında gerçekleşmektedir. Enerji tüketimini artıran temel unsurlar arasında pencere yüzeyleri, yetersiz yalıtım, güneş ışınımı kaynaklı ısı kazançları ve yaz aylarında artan soğutma ihtiyaçları bulunmaktadır (Tablo 1.1).



Şekil 1.1: Türkiye’de enerjinin sektörel dağılımı

Avrupa Birliği, bu nedenle binaların enerji performansını artırmayı hedefleyen politika çerçevelerini sürekli geliştirmektedir. Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD), özellikle 2018 ve 2021 revizyonlarında enerji verimliliğinin yanı sıra bina kullanıcılarının sağlığı ve termal konforunu da ele alan daha kapsamlı bir modele dönüşmüştür. 2023 revizyonu ise daha ileri giderek, üye devletlerin ulusal enerji hesaplama metodlarına aşırı ısınma riskinin ve gelecek iklim senaryolarının zorunlu olarak dahil edilmesini gerektirmektedir. Bu değişiklik, binaların yalnızca enerji etkin değil, aynı zamanda iklim değişikliğine karşı dayanıklı şekilde tasarlanması gerekliliğine işaret etmektedir (Cho et al., 2014).

Tablo 1.1: Türkiye’de bazı sektörlerde enerjinin sektörel dağılımı

Bina Tipi	(%)
Konutlar	32
Ofisler	18
Oteller	14
Okullar	13
Hastaneler	9
Mutfak	6
Diğerleri	6

Ancak enerji verimliliğine odaklanan politikaların istenmeyen bir sonucu olarak, özellikle yüksek yalıtım ve hava sızdırmazlığına sahip binalarda aşırı ısınma önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Isı kazançlarının içeride hapsolması, doğal havalandırmanın sınırlı olduğu durumlarda iç ortam sıcaklıklarını konfor seviyelerinin üzerine taşımaktadır. Bu sorun, yoğun yapılaşmanın görüldüğu kentsel alanlarda daha belirgin hale gelmekte; kentsel ısı adası etkisi binaların ısı yükünü artırarak aşırı ısınmayı şiddetlendirmektedir. Aşırı ısınma, yaşam, çalışma ve uyku alanlarında iç ortam sıcaklıklarının kabul edilebilir konfor seviyelerinin üzerine çıkması olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda en sık kullanılan standartlardan biri CIBSE TM59, doğal havalandırmalı binalarda aşırı ısınmayı değerlendirmeye yönelik kabul görmüş kriterler sunmaktadır (Farahani et al., 2023). CIBSE TM52 ise hem simülasyon hem de gerçek ölçümler için üç kriterli aşırı ısınma değerlendirme yöntemi önermektedir (Halsey, 2010). Bu kriterler, aşırı ısınmanın süre, şiddet ve maksimum sıcaklık limitleri üzerinden değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca CIBSE Guide

A'da yer alan "Simple (cyclic) model", sıcak dönemlerde tepe değerlerin hesaplanması için kullanılmaktadır (Caner, 2025).

Literatürdeki çalışmalar, aşırı ısınmanın birçok parametreden etkilendiğini göstermektedir: bina tipi, yapı kabuğu özellikleri, cephe yönelimi, pencere alanı, gölgeleme elemanları, havalandırma stratejileri ve kullanıcı davranışı bunlar arasındadır. Sıcak iklimlerde güneş ışıınının doğrudan etkisi nedeniyle özellikle güney ve batı cephelerinde büyük pencerelere sahip üst katlar aşırı ısınmaya en yatkın mekânlardır. Bu nedenle dış gölgeleme sistemleri, doğal havalandırma, yüksek performanslı camlar, faz değişim malzemeleri ve gece soğutması gibi pasif stratejiler kritik önem taşır (Tan et al., 2021). Birçok çalışma, gelecekteki iklim senaryolarını ele alarak aşırı ısınmanın önümüzdeki yıllarda artacağını doğrulamaktadır. Çin, Finlandiya, İtalya, Brezilya ve Akdeniz kuşağı ülkelerinde yapılan araştırmalar; 2030–2100 yılları arasında aşırı ısınma sürelerinin ve soğutma enerjisi ihtiyacının belirgin şekilde artacağını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin de dahil olduğu Akdeniz iklim kuşağının aşırı ısınmadan en fazla etkilenecek bölgeler arasında olduğu sıklıkla vurgulanmaktadır (Colclough and Salaris, 2023).

Türkiye temel olarak ısıtma ağırlıklı bir ülkedir. Bu nedenle binalarda aşırı ısınma yıllarca ikincil bir sorun olarak ele alınmış, özellikle mevcut binalarda bu konuya yönelik kapsamlı standartlar oluşturulmamıştır. Ancak iklim değişikliğinin etkilerinin belirginleşmesiyle birlikte özellikle okul binaları gibi günün önemli bir bölümünün kapalı alanlarda geçirildiği yapılarda aşırı ısınma riski giderek artmaktadır. Buna karşın:

- Türkiye'de aşırı ısınmaya ilişkin ulusal bir eşik değeri veya standart bulunmamaktadır.
- Simülasyon modellerinin ölçüm verileriyle doğrulandığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.
- Mevcut araştırmalar çoğunlukla pasif stratejilerin etkilerini incelemiş; ancak bu çalışmaların büyük bölümü gerçek ölçüm verilerinden yararlanmamıştır.
- Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde aşırı ısınma davranışını bütüncül olarak değerlendiren çalışmalar eksiktir.
- Gölgeleme elemanlarının türüne, cephesine ve iklim bölgesine göre etkisini ortaya koyan kapsamlı analizlere ihtiyaç vardır.

Bu açığın giderilmesi, hem mevcut binalar için iyileştirme stratejilerinin belirlenmesi hem de gelecekte hazırlanacak standartların bilimsel temele oturtulması açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1 Literatür Araştırması

Binalarda aşırı ısınma riskini değerlendirmek için literatürde çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Yapılan çok sayıda çalışma, kat seviyesi, cephe yönelimi, pencere alanı, havalandırma sistemleri ve gölgeleme cihazları gibi kilit faktörlerin aşırı ısınma üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Özellikle güney veya batı cepheye bakan üst katlar, büyük pencere alanlarına sahip ve yeterli gölgelemesi olmayan binalar, aşırı ısınmaya karşı yüksek hassasiyet göstermektedir (Ghosh and Neogi, 2018). Bu bulgular, aşırı sıcaklıkların yarattığı risklere yönelik artan endişeleri vurgulamaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle gelecekteki iklim senaryolarının aşırı ısınma üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Genel olarak bu araştırmalar, bina aşırı ısınmasının öncelikli olarak iklim verileri, bina tipi, bina elemanları, yönelim, cam ve gölgeleme sistemleri gibi faktörlerden etkilendiğini doğrulamaktadır (Aras H. 2006).

Aşırı ısınma değerlendirmelerinde iki temel yöntem öne çıkar: Enerji simülasyon modelleri ve izleme çalışmaları. Simülasyon modelleri, çeşitli bina parametrelerinin maliyet-etkin analizini sunarken, izleme çalışmaları gerçek kullanım verilerini kullanarak uygulama sonrası pratik zorlukları ve iyileşmeleri belirlemeye yardımcı olur (Guo et al., 2023). Standartlar aşırı ısınmayı tanımlarken genellikle 26°C gibi bir eşik sıcaklık kullanmaktadır. Örneğin, Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP), iç mekan sıcaklıklarının yılın %10'undan fazlasında 25°C'yi geçmemesini istemektedir. Fransa ve İngiltere gibi bazı ülkelerde operatif sıcaklık termal konfor değerlendirmesinde kullanılırken, minimum kış sıcaklıkları beş ülkede zorunludur. Finlandiya gibi ülkeler ise sağlıklı yetişkinler için 30°C, yaşlılar için 32°C gibi spesifik iç sıcaklık limitleri belirlemiştir. Bu farklı eşikler, aşırı ısınma değerlendirmeleri için halen yeterli veri ve standartlaştırılmış kriterlerin eksikliğini açıkça göstermektedir (Attia et al., 2023; Pinto et al., 2022). Farklı iklim bölgelerinde yapılan değerlendirmeler, iklim değişikliğinin etkilerinin bölgeler arası önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Baba et al., 2022). Örneğin, Çin'deki farklı iklim bölgelerinde yapılan bir çalışma, bazı şehirlerin gelecekte çok daha büyük aşırı ısınma yaşayacağını, buna karşılık soğuk iklim bölgelerinin bu durumdan daha az etkileneceğini

bulmuştur. Türkiye'yi de içeren Akdeniz ikliminin iklim değişikliği nedeniyle aşırı ısınmadan orantısız bir şekilde etkileneceğini öne sürmüştür. Bu bölgede, soğutma enerjisi tüketiminin artış hızının, ısıtma enerjisi tüketiminin artış hızını aşması beklenmektedir. Brezilya'da yapılan bir çalışma ise 2050 yılına kadar soğutma enerjisi tüketiminin %48 oranında artacağını ve binaların %37'sinin aşırı ısınmadan etkileneceğini öngörmektedir (Bakirci, 2015). Bu öngörüler, mevcut binaların termal dayanıklılığı artırmaya yönelik adaptif tasarımın önceliklendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bazı araştırmacılar 35°C üzerindeki eşiklerin dahi aşılabileceğini ve 26°C üzerindeki aşırı ısınma saatlerinin kısa sürede %50'ye kadar artabileceğini öne sürmüştür (Bellia et al., 2013).

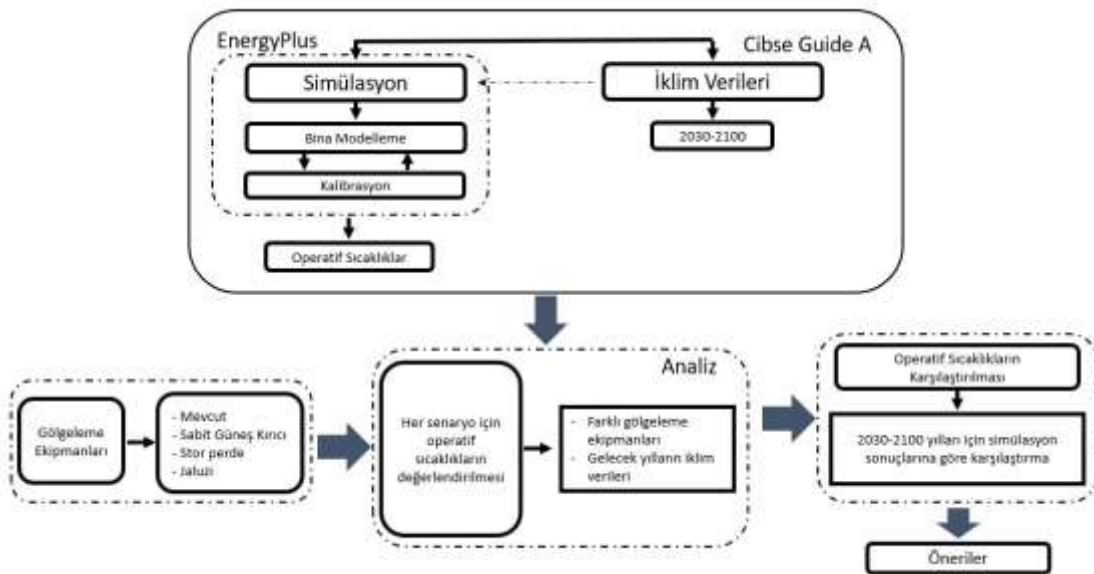
Binalarda aşırı ısınmayı önlemenin en etkili yolu, ısıtma, soğutma ve havalandırma için mümkün olduğunca az enerjiye ihtiyaç duyan pasif tasarım çözümlerini kullanmaktır. Bu çözümler, binanın iklim koşullarına akıllıca uyum sağlamasını hedefler. Örneğin gölgeleme elemanları, güneş ışığının doğrudan içeri girmesini engelleyerek hem ısı kazancını azaltır hem de binanın daha serin kalmasını sağlar. Böylece enerji tüketimi ve buna bağlı sera gazı emisyonları da düşer (Zheng, 2024). Literatürde en etkili pasif stratejiler genel olarak üç başlık altında toplanır; Gölgeleme ve cephe yönetimi, yalıtım ve hava sızdırmazlığı, doğal ve özellikle gece havalandırması. Araştırmalar, özellikle opak duvar gölgelemesinin, kullanılan gölgeleme elemanları arasında aşırı ısınmayı en çok azaltan yöntemlerden biri olduğunu ortaya koyuyor (Zhao et al., 2024). Örneğin İtalya'daki dört okul binasında yapılan bir çalışma, doğru tasarlanmış gölgeleme çözümlerinin iç ortam sıcaklığını ortalama 4°C düşürdüğünü göstermiştir (Wang et al., 2020). Ayrıca dış cepheye yerleştirilen gölgeliklerin, iç mekândaki perdeler veya jaluzilere göre çok daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Tian et al., 2020). Gece havalandırmasıyla birlikte kullanıldığında ise gölgelendirme, aşırı ısınmayı önlemede en belirleyici unsur hâline geliyor. Başka çalışmalar da her cephe için en uygun gölgeleme tipinin farklı olabileceğini; dolayısıyla binaya özel çözümler geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Özturan and Seyhan, 2024). İç hacimlerde aydınlık düzeyi ve ısı konforu, yalnızca pencere açıklıklarıyla değil, bu açıklıkları destekleyen gölgeleme sistemleri aracılığıyla da düzenlenebilir. Güneşin yıl içindeki konumu ve gün boyunca değişen geliş açısı, iç mekâna ulaşan doğrudan ışınımın miktarını ve yönünü belirleyen temel unsurlardır. Bu bağlamda, sabit ya da ayarlanabilir nitelikteki gölgeleme elemanları, güneş ışığının kontrol altına alınmasında etkili çözümler sunar. Panjur, stor perde, tente, jaluzi ve klasik perdelerin yanı sıra; farklı tip güneş kırıcılar ile düşey ve yatay elemanların birlikte

kullanıldığı bileşik sistemler, güneş kontrolünü sağlamak amacıyla yaygın olarak tercih edilmektedir (Oleskowicz-Popiel et al., 2014). İç mekânda istenen ışık ve sıcaklık seviyesini sağlamak için pencerelerle birlikte kullanılan gölgeleme elemanları oldukça etkilidir (Kunwar et al., 2020) . Çünkü güneş ışığının içeri girme miktarı, günün saatine ve mevsime göre değişen güneş açısına bağlıdır. Bu nedenle enerji verimli bir bina tasarlarırken güneş kontrolü en önemli tasarım adımlarından biridir. Bu amaçla, farklı türlerde sabit ve hareketli gölgeleme sistemleri kullanılır. Pasif çözümler arasında yatay çıkmalar, düşey güneş kırıcı elemanlar ile bu unsurların birlikte tasarlanmasıyla oluşturulan karma gölgeleme sistemleri mevcuttur. Bu elemanlar güneş ışığını fiziksel olarak engelleyerek iç mekânın fazla ısınmasını önler (Norouziasas et al., 2023). Daha esnek kullanım sunan hareketli sistemler de mevcuttur. Bunlara panjur, stor perde, tente, jaluziler ve iç perdeler örnektir. Bu sistemler, güneş ışığını ihtiyaçlara göre ayarlamaya izin vererek hem aşırı ısınma riskini düşürür hem de iç mekânda daha konforlu ve dengeli bir aydınlatma sağlar (Kim et al., 2023). İkinci önemli nokta, yalıtım ve hava sızdırmazlığıdır (Nicoletti et al., 2023). İyi yalıtılmış binalar normalde daha enerji verimlidir, ancak ilginç bir şekilde bu binalar, sıcak dönemlerde eski binalara göre daha fazla aşırı ısınma riski taşıyabilir. Bunun sebebi, ısıyı içerde daha uzun süre tutmalarındır. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkileri dikkate alınarak, yalıtım yapılan binalarda mutlaka etkin gölgeleme, doğru pencere kullanımı ve uygun havalandırma stratejileri de eklenmelidir. Bu üçlü birlikte kullanıldığında, yenilenen binalarda aşırı ısınmanın belirgin şekilde azaldığı görülmüştür (Huo et al., 2023; Koç and Kalfa, 2021).

Üçüncü strateji olan doğal havalandırma, özellikle gece soğutmasıyla birleştiğinde aşırı ısınmaya karşı çok etkili bir çözümdür (Huo et al., 2021). Bilbao'daki bir konut kulesinde yapılan bir çalışma, pencerelerin gece tamamen açılması ve gölgeleme elemanlarının doğru şekilde kullanılmasıyla aşırı ısınma saatlerinin azaldığını göstermiştir. Ancak sıcak günlerde sadece doğal havalandırmaya güvenmenin yeterli olmadığı, özellikle gündüz pencerelerin belli zamanlarda açılmasıyla daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir (Ma et al., 2023). Son olarak, Faz Değiştiren Malzemeler (PCM) gibi daha yenilikçi pasif çözümler de bina performansını artırmak için kullanılabilir. PCM'ler, ısıyı depolayıp serbest bırakma özellikleri sayesinde aşırı ısınma sürelerini yaklaşık %20 oranında azaltabilir ve soğutma amaçlı enerji kullanımında %15'e varan tasarruf sağlayabilir. Bu da, karmaşık teknik önlemler yerine çoğu zaman daha pratik ve uygulanabilir çözümlere yönelmenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Han et al., 2008; Silva and Ghisi, 2014).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın araştırma süreci dört temel bölümde yapılandırılmıştır. Birinci bölümde, seçilen referans binanın mevcut enerji tüketim değerleri dikkate alınarak ayrıntılı bir bina modeli oluşturulmuştur. Bu kapsamda binanın fiziksel özellikleri, kullanım profili ve enerji performansı analiz edilmiş; söz konusu modelin iklim koşullarına doğru şekilde yanıt verebilmesi için ilgili meteorolojik veriler toplanmış ve sisteme entegre edilmiştir. İkinci bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan ve enerji verimliliği açısından öne çıkan gölgeleme ekipmanı türleri incelenmiştir. Bu doğrultuda farklı tiplerde iç ve dış gölgeleme çözümleri değerlendirilmiş, seçilen ekipmanların bina kabuğu ile etkileşimleri ve termal konfor üzerindeki etkileri göz önüne alınarak çeşitli gölgeleme modelleri oluşturulmuştur. Üçüncü bölüm, hem mevcut hem de geleceğe yönelik iklim koşullarının bina performansına etkilerini araştırmaya odaklanmaktadır. Bu kapsamda 2024 yılına ait güncel iklim verileri kullanılarak binanın operatif sıcaklıkları hesaplanmış; ardından 2030–2100 yılları arasında geçerli olacak iklim projeksiyonlarından yararlanılarak farklı senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar sayesinde gelecekteki iklim değişikliğinin termal konfor ve iç mekân sıcaklık dinamikleri üzerindeki olası etkileri ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur. Dördüncü ve son bölümde ise tüm senaryolar kapsamında hesaplanan operatif sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında gölgeleme stratejilerinin etkinliği değerlendirilmiş ve hem mevcut koşullar hem de gelecekteki iklim senaryoları için uygulanabilir tasarım ve iyileştirme önerileri sunulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Çalışmanın adımları

2.1 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi ve Modellenmesi

Çalışmada referans olarak seçilen Balıkesir Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi 2013-2014 yılından itibaren aktif olarak hizmete girmiş olup, iyi yalıtılmış bir yapıdır ve duvarlarının %90'ından fazlası pencerelerden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Dersliklerdeki iklimlendirme sistemleri sadece ısıtma amaçlı kullanılmakta olup, öğretim üyesi ofislerinde soğutma amaçlı kullanılmaktadır ve toplam kullanım alanı 10.247 m²'dir. Çalışmada kullanılan bina daha önce birkaç çalışmada farklı analizler açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 2.2: Spor bilimleri fakültesi genel görünüş

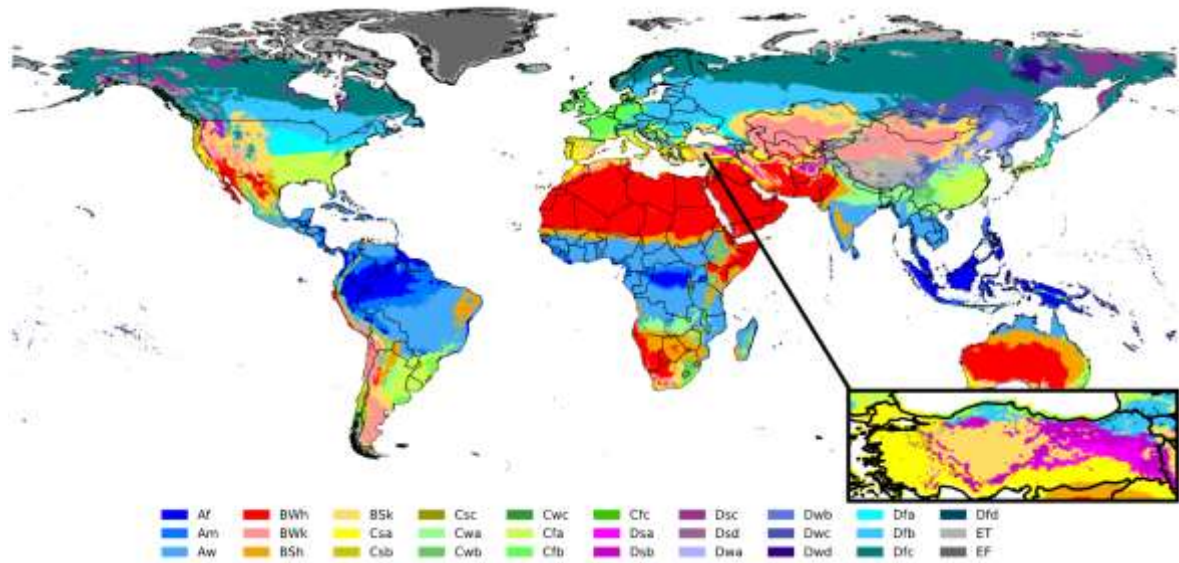
ASHRAE Kılavuz 14–2002, binalarda yapılan enerji yönetimi projelerinin sağladığı enerji ve talep tasarruflarını değerlendirmek için gerekli en düşük performans ölçütlerini tanımlar. Bu kılavuz, bina enerji ve ısı modellerinin doğruluğunu kontrol etmek için iki temel gösterge kullanır: Ortalama Sapma Hatası (MBE) ve Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE). Bu göstergeler için kabul edilen sınırlar şöyledir: MBE için aylık verilerde %5, saatlik verilerde %10; CVRMSE için aylık verilerde %15, saatlik verilerde %30'dir (Tan et al., 2021).

Bina enerji simülasyon programları; uygun HVAC sisteminin seçimi ve boyutlandırılmasının yanı sıra enerji tüketimlerinin analiz edilmesine olanak tanır. Bununla birlikte iç ortam sıcaklık değerleri, iklimlendirme gereksinimleri, aydınlatma düzeyi, havalandırma oranları, kullanıcı konforu, yenilenebilir enerji katkıları, su tüketimi ve HVAC sistemlerine ait tüketim değerleri gibi birçok parametre de bu yazılımlar aracılığıyla hesaplanabilmektedir (Baba et al., 2022; Baba et al., 2023). Farklı karmaşıklık seviyelerine ve uygulama amaçlarına sahip çok sayıda bina enerji simülasyon programı bulunmakta olup, bu yazılımlar zaman içerisinde daha fazla değişkeni ve daha ayrıntılı hesaplama yöntemlerini içerecek şekilde gelişmektedir. Bina ve enerji sistemlerinin modellenmesinde kullanılan bu

programlar; yazılım altyapısı, hesaplama algoritmaları ve girdi gereksinimleri açısından birbirinden farklılık gösterebilmekte, her biri belirli kullanım alanlarına yönelik özel yetenekler sunmaktadır. Etkili bir enerji simülasyonu için bu programların iklim koşulları ve güneş ışınımı gibi tüm temel bina enerji parametrelerini dikkate alması ve kullanıcı dostu bir arayüz sunması beklenmektedir.

2.2 Balıkesir İli İklim Verileri

Türk Standardı TS 825 (2013)'te belirtilen binalarda ısı yalıtımı kuralları dikkate alınmıştır. TS 825; konutların ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamak için ISO 9164 ve EN 832 standartlarının uyarlanmış hâlidir. Bu standart, ısıtma enerjisi hesaplama yöntemlerini tanımlar ve özellikle ısı yalıtımını geliştirmeye odaklanır; böylece ısıtma enerjisi tüketimini azaltmayı amaçlar. Türkiye, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına ve TS 825 iklim bölgelerine göre birçok farklı iklim tipine sahiptir. Köppen-Geiger'e göre Türkiye'de başlıca Csa, Dsa, BSk, Dfb, Dsb, Dsc ve Cfb iklimleri görülmektedir (Şekil 2.3). TS 825'e göre ise Türkiye beş iklim bölgesine ayrılmıştır ve sıcaklıklar 1. bölgeden 5. bölgeye doğru azalmaktadır.



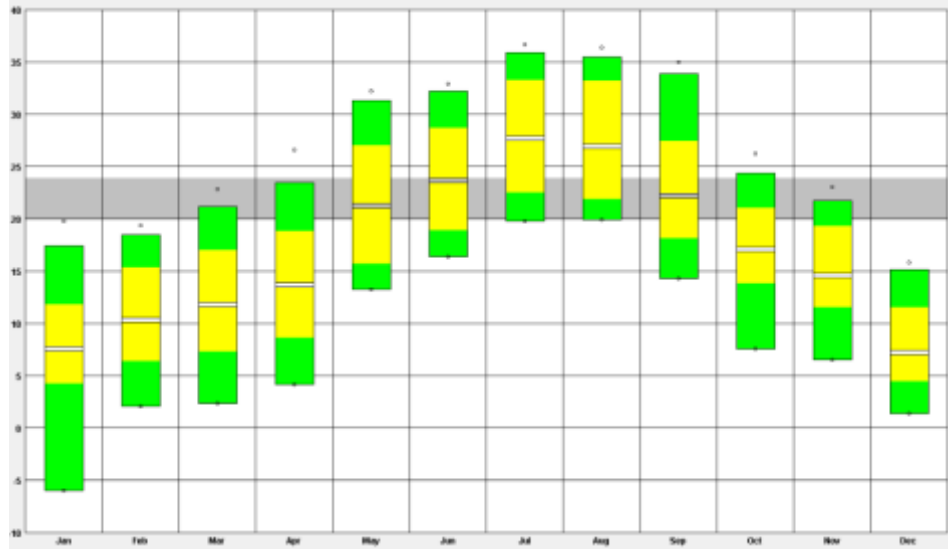
Şekil 2.3: Köppen-Geiger iklim haritası (Amaripadath et al., 2023)

Aşağıdaki tabloda, bazı şehirlerin iki farklı iklim sınıflandırmasına göre iklim özelliklerini özetlemektedir. Ayrıca ölçümlerin başladığı tarihten günümüze kadar kaydedilen en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri de tabloda (Tablo 2.1) yer almaktadır.

Tablo 2.1: Türkiye’de bulunan bazı şehirlerin maksimum ve minimum sıcaklık değerleri ve iklim sınıfları

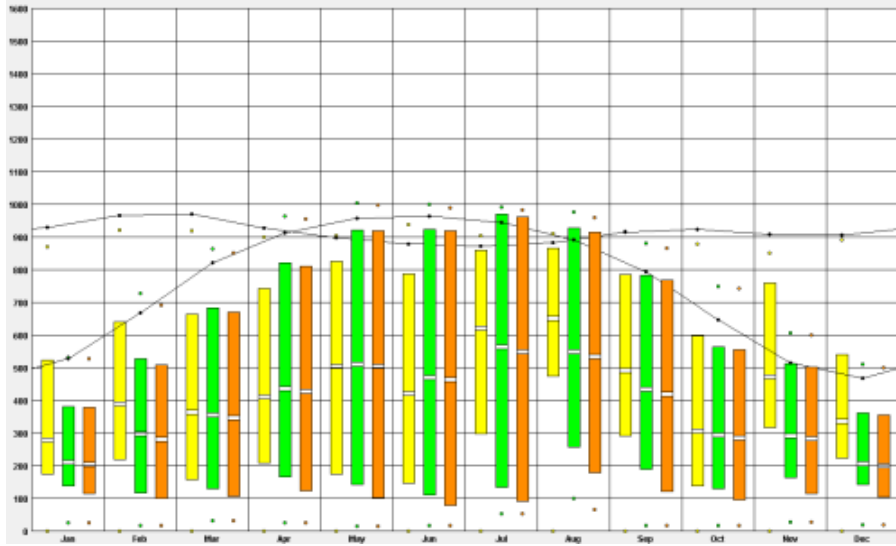
Şehir	Köppen-Geiger iklim sınıfı	TS 825	1927-2023	
			Maksimum Sıcaklık (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)
Balıkesir	Csa	2. bölge	43.2	-18.8
İzmir	Csa	1. bölge	43.2	-8.2
Gaziantep	Csa	2. bölge	44.0	-17.5
Ankara	BSk	3. bölge	41.0	-24.9
Sivas	Dsa-Dsb	4. bölge	40.0	-34.4
Kars	Dfb	5. bölge	37.1	-37.0

Designbuilder programında bina modelinin kalibrasyonu için kullanılan iklim verilerine ait detaylar Şekil 2.4’te gösterilmiştir. 2024 yılına ait 12 aylık maksimum ve minimum değerler şekilde görülmektedir.



Şekil 2.4: 2024 yılına ait Balıkesir ili iklim verileri

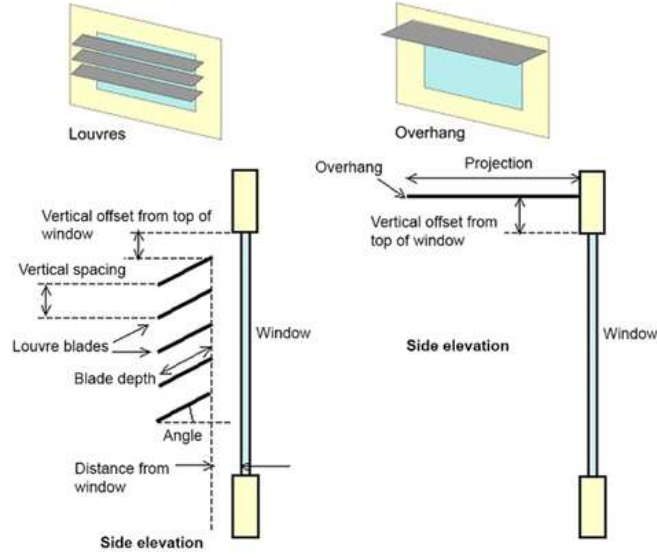
Şekil 2.5’te Balıkesir iline ait 2024 yılı güneş radyasyon verileri verilmiştir. Bu değerler Balıkesir iline ait iklim verilerinin (.epw) Climate Consultant programında analiz edilmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 2.5: 2024 yılı güneş radyasyon verileri (W/m^2)

2.3 Gölgeleme Ekipmanları

Çalışmada üç farklı güneş kırıcı sistemi dikkate alınmıştır. Bunlar sabit güneş kırıcılar, stor perdeler ve jaluzi sistemleridir. Bu güneş kontrol elemanları, binalarda güneş ışınımının iç mekâna etkisini sınırlandırmak, kullanıcı konforunu artırmak ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Sabit güneş kırıcılar (Şekil 2.6), cepheye kalıcı olarak yerleştirilen ve hareket etmeyen elemanlar olup genellikle yatay veya düşey kanatlar şeklinde tasarlanır. Bu sistemler özellikle güneşlenmenin yoğun olduğu cephelerde kullanılarak yaz aylarında doğrudan güneş ışığını engeller, iç mekân sıcaklıklarını düşürür ve soğutma ihtiyacını azaltır. Mekanik hareket içermemeleri nedeniyle bakım gereksinimleri düşüktür ve pasif bir çözüm olarak uzun ömürlüdürler.



Şekil 2.6: Bazı sabit güneş kırıcı örnekleri

Stor perdeler, pencerenin iç veya dış yüzeyine yerleştirilen ve yukarı-aşağı hareket edebilen esnek güneş kontrol sistemleridir (Şekil 2.7). Manuel ya da otomatik olarak çalıştırılabilen bu sistemler, güneş ışığının içeri girişini kullanıcı ihtiyacına göre ayarlamaya olanak tanır. Stor perdeler, özellikle ofis ve konut yapılarında görsel konforu artırmak, kamaşmayı azaltmak ve güneş kaynaklı ısı kazançlarını sınırlamak amacıyla tercih edilmektedir. Gün boyunca değişen güneş koşullarına uyum sağlayabilmeleri bu sistemlerin önemli bir avantajıdır.

Jaluzi sistemleri (Şekil 2.7) ise yatay veya dikey lamellerden oluşan ve lamel açıları ayarlanabilen güneş kırıcı elemanlardır. İç veya dış cephede uygulanabilen bu sistemler, güneş ışığının miktarını ve yönünü kontrol ederek doğal aydınlatmadan daha etkin biçimde yararlanılmasını sağlar. Aynı zamanda iç mekânda aşırı ısınma ve parlamayı önleyerek termal ve görsel konforu artırır. Ayarlanabilir yapıları sayesinde sabit güneş kırıcılara kıyasla daha esnek bir çözüm sunan jaluzi sistemleri, bina enerji performansının iyileştirilmesine önemli katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.7: Bazı dış cephe jaluzi güneş kırıcı uygulama örnekleri

Kullanılan gölgeleme ekipmanlarına ait fiziksel parametreler tabloda verilmiştir. Gölgeleme elemanları seçilirken uygulaması daha kolay olan sistemler tercih edilmiştir. Literatürde birçok farklı gölgeleme çözümü yer almakla birlikte, özellikle jaluzi ve stor perdelerin bina uygulamalarının daha pratik olduğu bilinmektedir. Bunun temel nedeni, bu sistemlerin bina içinden monte edilebilmesidir. Buna karşılık, sabit güneş kırıcı uygulaması diğer iki sisteme kıyasla daha zorlu bir montaj sürecine sahiptir.

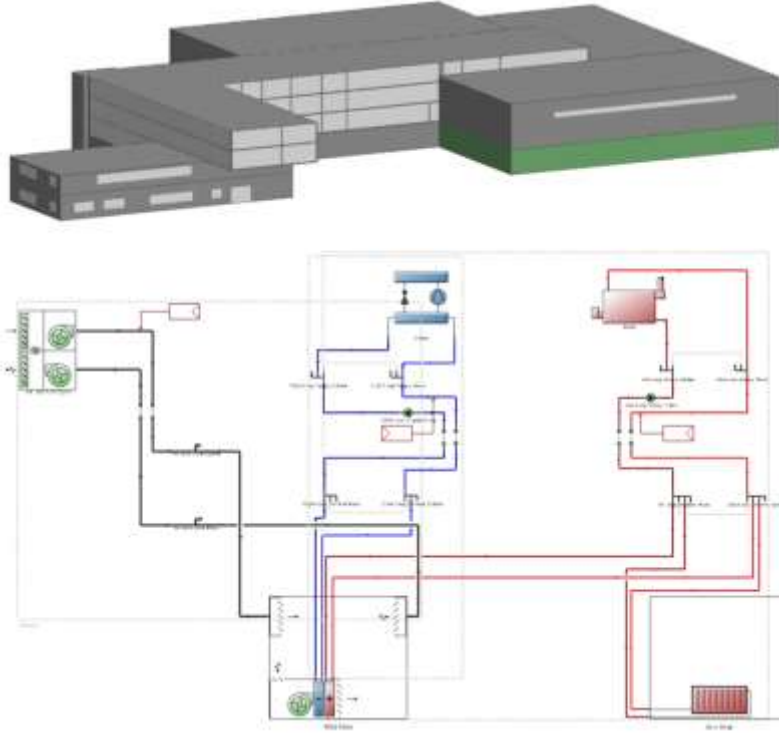
Tablo 2.2: Güneş kırıcılarına ait fiziksel parametreler

Parametre	Jaluzi	Stor Perde	Sabit güneş kırıcı
Kalınlık (m)	0.003	0.003	1
Isı transfer katsayısı (W/m.K)	0.1	0.1	-
Güneş geçirgenliği	0.6	0.05	-
Güneş yansıtıcılığı	0.12	0.35	-
Görünür ışık geçirgenliği	0.6	0.05	-
Görünür ışık yansıtıcılığı	0.12	0.35	-
Emisivite	0.9	0.9	-

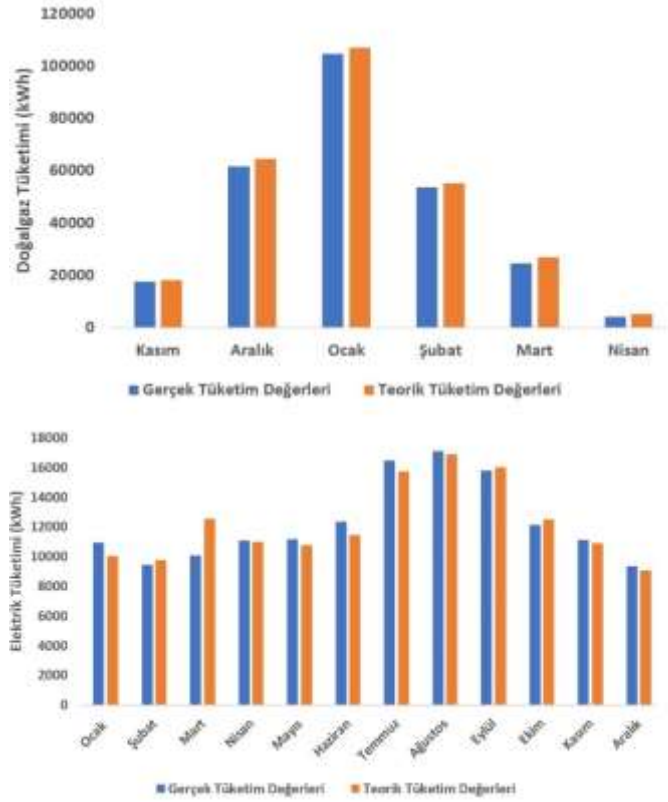
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Mevcut Bina Modelinin Analizi

Bina modellenirken; kullanıcılar, aydınlatma elemanları ve elektrikli ekipmanların gerçek kullanım zamanları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Kullanıcı yoğunluğu belirlenirken okulun ders programları incelenmiş, binanın akademik takvim süresince hafta içi 09.00–20.30; tatil döneminde ise hafta içi 08.00–16.30 saatleri arasında kullanıldığı kabul edilmiştir. 2024 yılında toplam 874 kişi tarafından kullanılan binada kişi yoğunluğu 0,08 kişi/m² olarak hesaplanmış ve modele girilmiştir. Yaz döneminde öğrenci kullanımının büyük ölçüde azalması nedeniyle haziran, temmuz ve ağustos aylarında kullanıcı yoğunluğunun düştüğü varsayılmış; sadece yaz okulunun açık olduğu dönemlerde öğrencilerin bulunduğu, diğer zamanlarda yalnızca idari ve akademik personelin binayı kullandığı kabul edilmiştir. Aydınlatma için, yaz döneminde sadece örgün dikkate alınarak lambaların hafta içi 09.00–11.00 ve 17.00–19.00 saatleri arasında açık olduğu ve toplam 4 saat aktif olarak kullanıldığı, günün diğer zamanlarında gün ışığının yeterli olduğu varsayılmıştır. İncelemeler sonucunda mevcut bir lambanın 70 W olduğu ve metrekarede 5,95 W/m² elektrik tüketildiği belirlenmiştir. Bilgisayar, yazıcı ve fotokopi gibi ekipmanların ise alan başına 2,2 W/m² enerji harcadığı değerlendirilmiştir. Hava sızdırmazlık değeri gözlemler doğrultusunda 2,5 ac/h olarak alınmış, termostat ayarları ise ısıtma döneminde (Ekim–Nisan) 22 °C, soğutma döneminde (Mayıs–Eylül) 25 °C olarak tanımlanmıştır. Bina model görüntüsü ve iklimlendirme sistemi detayları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: DesignBuilder bina modeli ve HVAC sistemi



Şekil 3.2: Spor bilimleri fakültesi enerji tüketim verileri

Seçilen binanın elektrik tüketimi için MBE ve CVRMSE değerleri sırasıyla %4,68 ve %6,04 olarak hesaplanmıştır. Doğal gaz tüketimi için ise bu değerler sırasıyla %5,47 ve %5,89 olarak bulunmuştur (Şekil 3.2). Bu sonuçlar, binanın simülasyon çalışmaları için yeterli doğrulukta kalibre edildiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, modelin gerçek ölçüm verileriyle uyumu kabul edilebilir düzeydedir. Ayrıca, model görseli ve operatif sıcaklıklar açısından analiz edilen sınıflar Şekil 3.3'te verilmiştir.

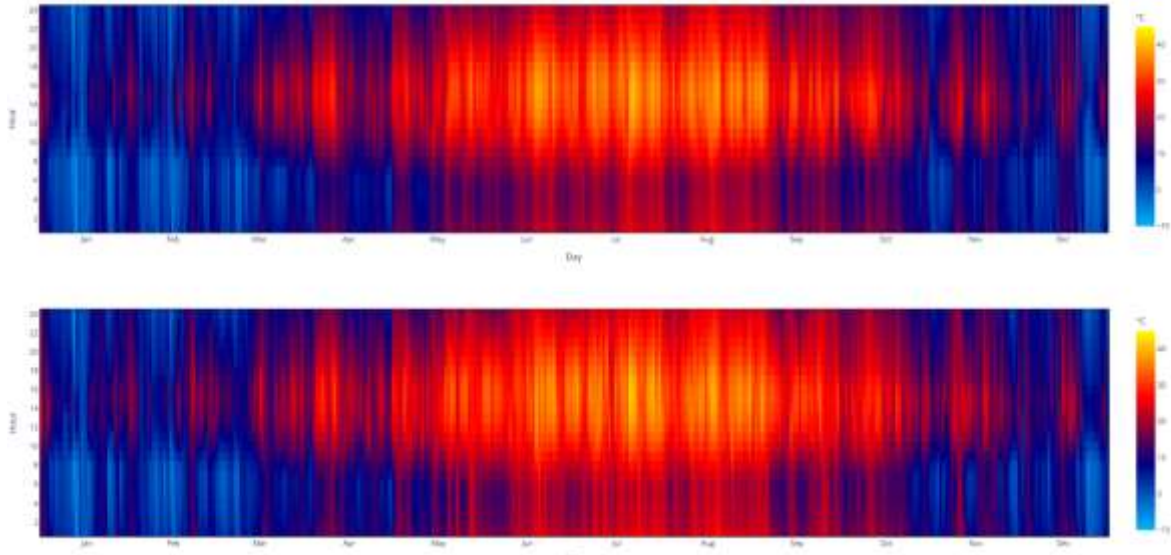


Şekil 3.3: Spor bilimleri fakültesi seçilen sınıflar

3.2 İklim Verilerinin Analizi

Mevcut yıl ile 2100 yılına ait sıcaklık dağılımlarının hem mevsimsel hem de günlük ölçekte belirgin farklılıklar sergilediği görülmektedir. Mevcut yıla ait sıcaklık dağılımında kış aylarında gece ve sabah erken saatlerde sıcaklıkların çoğunlukla düşük değerlerde seyrettiği, yaz aylarında ise özellikle öğle ve öğleden sonra saatlerinde yüksek sıcaklıkların sınırlı bir zaman diliminde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Yaz dönemi sıcaklık artışları belirgin olmakla birlikte, bu artışların çoğunlukla gündüz saatleriyle sınırlı kaldığı ve gece saatlerinde görece bir serinleme sağlandığı görülmektedir. 2100 yılına ait sıcaklık dağılımı grafiği ise mevcut yıla kıyasla daha geniş bir zaman aralığında yüksek sıcaklıkların hâkim olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında kırmızı ve sarı tonların hem gündüz hem de gece saatlerinde yaygınlaştığı, gece sıcaklıklarının belirgin biçimde arttığı dikkat çekmektedir. Bu durum, gece boyunca gerçekleşen doğal soğumanın zayıfladığını ve tropikal gece sayısının artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıkların yalnızca yaz aylarıyla sınırlı kalmadığı, ilkbahar ve sonbahar aylarına doğru da sıcak dönemlerin uzadığı görülmektedir.

Mevsim geçişleri açısından değerlendirildiğinde, mevcut yılda ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde sıcaklıkların daha dengeli ve geçişlerin daha yumuşak olduğu söylenebilirken, 2100 yılı senaryosunda bu geçişlerin daha kısa sürdüğü ve sıcak yaz koşullarının daha erken başladığı ve daha geç sona erdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, yıl içerisindeki soğuk dönemlerin süresinin kısaldığını ve sıcak dönemlerin baskın hale geldiğini göstermektedir. Günlük sıcaklık değişimleri incelendiğinde, mevcut yılda gündüz–gece sıcaklık farklarının görece yüksek olduğu, yani gecelerin daha serinlediği görülürken, 2100 yılı için bu farkın azaldığı dikkat çekmektedir (Şekil 3.4). Gece sıcaklıklarının yükselmesi, özellikle binalarda pasif soğutma potansiyelinin azalmasına ve soğutma enerjisi ihtiyacının artmasına neden olabilecek önemli bir etkidir. Genel olarak grafikler, 2100 yılına doğru sıcaklıkların yalnızca ortalama değerler açısından değil, süreklilik ve zamansal yayılım bakımından da arttığını göstermektedir. Daha uzun süren sıcak dönemler, artan gece sıcaklıkları ve yaz koşullarının yıl geneline yayılması; iklim değişikliğinin bina enerji tüketimi, termal konfor ve aşırı ısınma riski üzerindeki olumsuz etkilerinin gelecekte daha belirgin hale geleceğine işaret etmektedir.



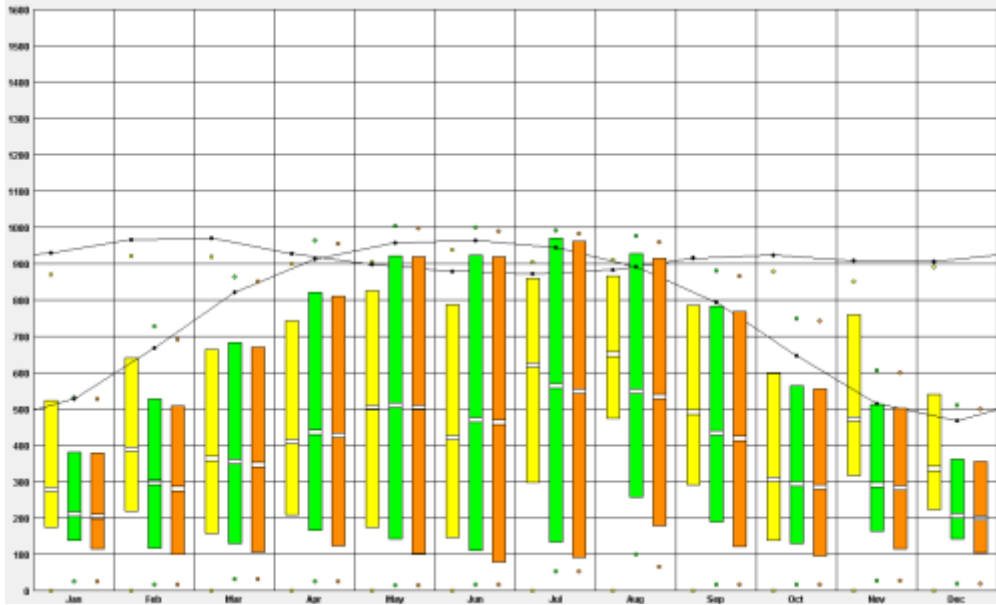
Şekil 3.4: Mevcut ve 2100 yılına ait sıcaklık haritalarının karşılaştırılması

Verilen güneş radyasyonu grafikleri incelendiğinde, mevcut yıl (Şekil 3.5) ile 2100 yılı senaryosu (Şekil 3.6) arasında hem mevsimsel dağılım hem de radyasyon seviyelerinin büyüklüğü açısından dikkat çekici farklılıklar olduğu görülmektedir. Mevcut yıla ait grafikte güneş radyasyonunun yıl içerisinde belirgin bir mevsimsel döngü izlediği anlaşılmaktadır.

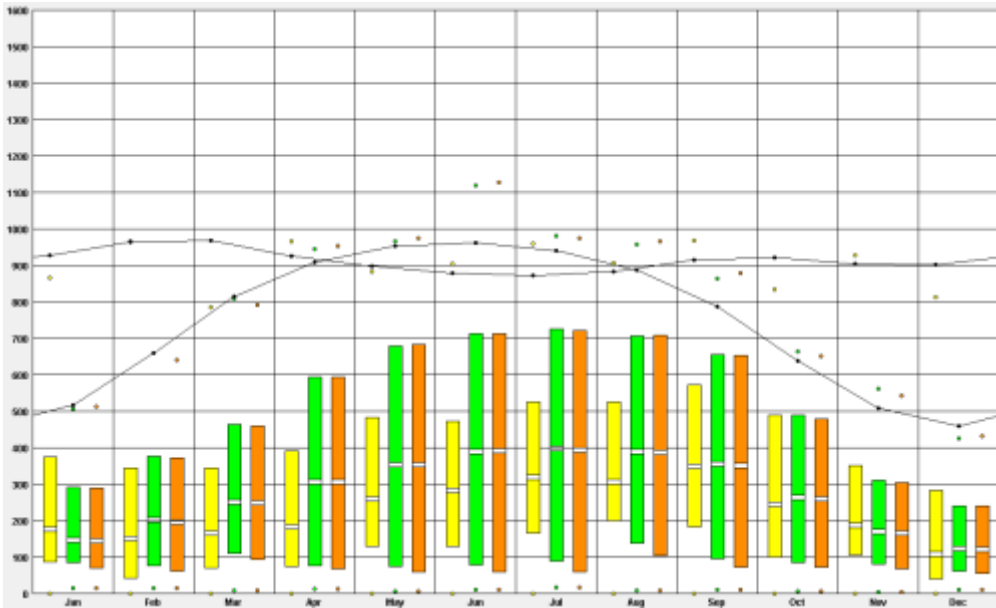
Kış aylarında radyasyon değerleri görece düşük seviyelerde seyrederken, ilkbahar aylarıyla birlikte artış eğilimine girmekte, yaz aylarında ise maksimum değerlere ulaşmaktadır. Özellikle Haziran–Temmuz döneminde radyasyon değerlerinin zirve yaptığı, sonbahar aylarından itibaren ise kademeli bir düşüşe geçtiği net bir şekilde gözlenmektedir. Günlük dağılımlar incelendiğinde, radyasyonun gündüz saatlerinde yoğunlaştığı ve gece saatlerinde doğal olarak sifıra yakın değerlere indiği düzenli bir yapı sergilediği söylenebilir.

2100 yılına ait güneş radyasyonu grafiği ise mevcut yıla kıyasla farklı bir karakter ortaya koymaktadır. Öncelikle yaz aylarında maksimum radyasyon değerlerinin daha yüksek seviyelere ulaştığı ve bu yüksek değerlerin daha geniş bir zaman aralığına yayıldığı görülmektedir. Bu durum, yalnızca yaz ortasında değil, ilkbaharın sonu ve sonbaharın başında da yüksek radyasyon koşullarının daha sık yaşanacağını göstermektedir. Mevsim geçişlerinin kısaldığı ve yüksek radyasyon dönemlerinin yıl içerisinde daha baskın hale geldiği söylenebilir. Aylık dağılımlar karşılaştırıldığında, 2100 yılı senaryosunda özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında mevcut yıla göre belirgin bir radyasyon artışı olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, güneşlenme potansiyelinin yıl geneline daha dengeli bir şekilde yayıldığını, ancak aynı zamanda binalar açısından istenmeyen güneş kazançlarının da artabileceğini göstermektedir. Yaz aylarında ise yüksek radyasyon değerlerinin yalnızca tepe saatlerle sınırlı kalmadığı, gün içerisindeki etkisinin uzadığı anlaşılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 2100 yılına ait güneş radyasyonu dağılımı (Şekil 3.6), mevcut yıla kıyasla daha yüksek ve daha süreklilik gösteren radyasyon koşullarına işaret etmektedir. Bu artış, yenilenebilir enerji üretimi açısından potansiyel bir avantaj oluştururken, bina ölçeğinde aşırı ısınma riskini ve soğutma enerji ihtiyacını artırabilecek önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla, geleceğe yönelik bina tasarım ve enerji performansı çalışmalarında, artan güneş radyasyonunun etkilerinin gölgeleme, cephe tasarımı ve pasif soğutma stratejileri ile birlikte bütüncül bir şekilde ele alınması gerekmektedir.



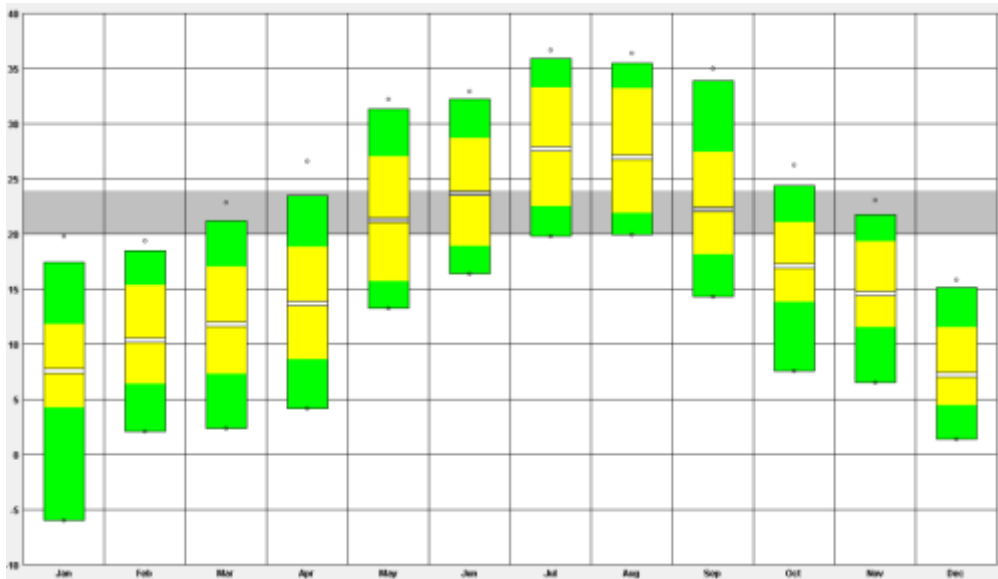
Şekil 3.5: Mevcut döneme ait güneş radyasyonu dağılımı



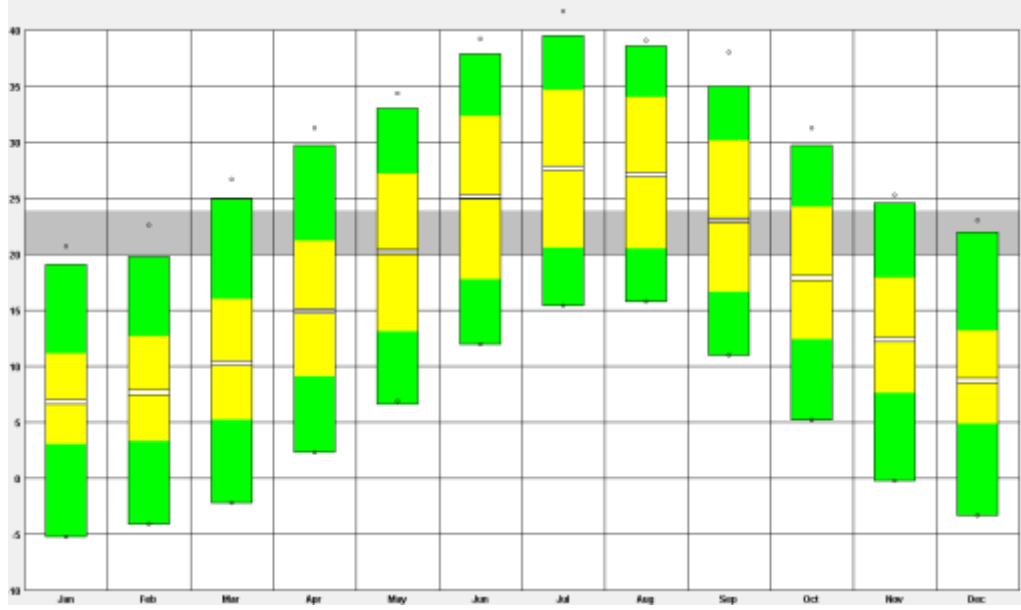
Şekil 3.6: 2100 yılına ait güneş radyasyonu dağılımı

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilen mevcut dönem ile 2100 yılına ait sıcaklık dağılım verileri karşılaştırıldığında, yüzyıl sonuna kadar yaşanacak olan iklimsel dönüşümün boyutu oldukça radikal bir tablo çizmektedir. Mevcut durumda bölgenin sıcaklık rejimi, temmuz ve ağustos aylarında 36°C civarında zirve yapıp kışın -7°C seviyelerine kadar inen daha dengeli bir seyir izlerken, 2100 yılı projeksiyonunda tüm sıcaklık değerlerinin yukarı yönlü büyük bir sıçrama yaptığı ve özellikle yaz aylarında aşırı sıcaklıkların yeni bir normal haline geldiği görülmektedir. Gelecekteki senaryoda Temmuz ayı sıcaklıklarının 43°C gibi ekstrem

değerlere ulaşması ve mevcut dönemin en sıcak aylarının bile 2100 yılının Haziran ayı kadar sıcak olmaması, yaz mevsiminin hem şiddetinin hem de süresinin ciddi şekilde arttığını kanıtlamaktadır. 20-24°C arasındaki ideal konfor bandı mevcut dönemde bahar aylarında geniş bir yer tutarken, 2100 yılında yaz aylarının neredeyse tamamı bu konfor sınırının üzerine çıkmakta, bu da yılın büyük bir bölümünde kesintisiz bir termal stres ve yoğun enerji ihtiyacı doğurmaktadır. Mevsimlerin birbirine karıştığı bu yeni düzende, Nisan ayı mevcut dönemin Mayıs ayı karakterine bürünmekte, Eylül ayı ise yazın yakıcı sıcaklığını sürdürmektedir; kış aylarında ise dondurucu soğukların yerini daha ılıman ve değişken bir hava kütlesi alırken, sıcaklık dalgalanmalarının artması iklimsel belirsizliği ve uç doğa olaylarını çok daha belirgin hale getirmektedir. Ayrıca, kutu grafiklerindeki dikey genişlemenin artması, sadece ortalama sıcaklıkların yükselmediğini, aynı zamanda sıcaklıklar arasındaki uçurumun ve tahmin edilemezliğin de derinleştiğini göstermektedir; bu durum ekosistemlerin adaptasyon sürecini zorlaştırırken, tarımsal takvimlerin tamamen değişmesine, su kaynaklarının buharlaşma yoluyla daha hızlı tükenmesine ve kentsel alanlarda ısı adası etkisinin hayati bir risk seviyesine ulaşmasına zemin hazırlamaktadır. 2100 yılına gelindiğinde kış mevsiminin kısalıp zayıflamasıyla birlikte kar örtüsünün kalıcılığı azalmakta, buna karşılık yazın hakim olduğu sürenin yılın neredeyse yarısını kapsamaması, bölgenin iklim sınıflandırmasının tamamen değişerek çok daha kurak ve sıcak bir kuşak olan subtropikal çöl iklimi özelliklerine yaklaşacağını işaret etmektedir.



Şekil 3.7: Mevcut döneme ait sıcaklık grafiği

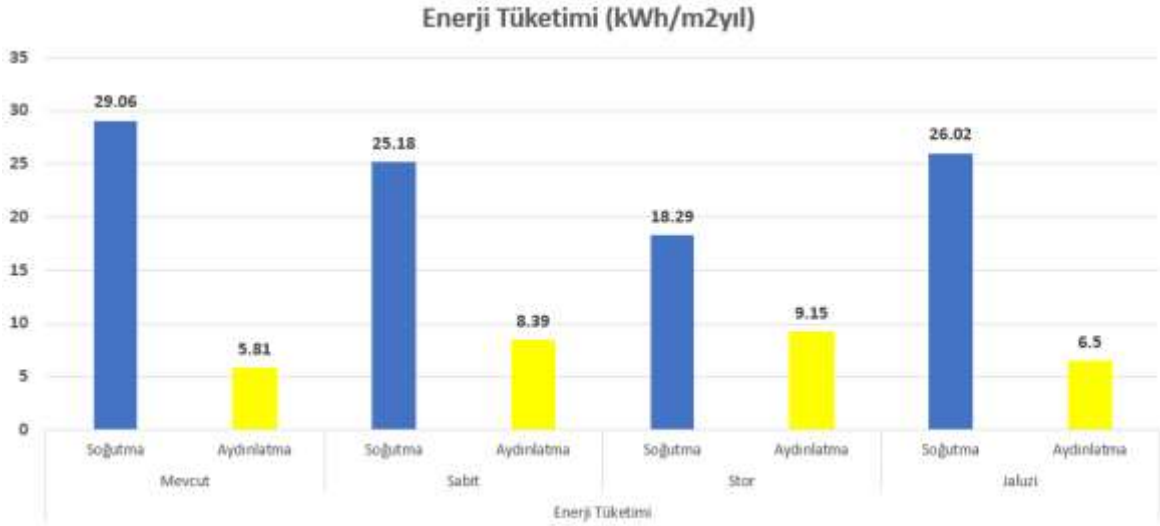


Şekil 3.8: 2100 yılına ait sıcaklık dağılımı

3.3 Bina Enerji Tüketiminin Farklı Güneş Kırıcılara Göre Analizi

Mevcut binanın enerji tüketimleri incelendiğinde, yaz dönemi soğutma enerjisi açısından birim alan başına $29,06 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ olan tüketimin, gölgeleme elemanlarının kullanılmasıyla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Sabit güneş kırıcıların uygulanması durumunda soğutma enerji tüketimi $25,18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ seviyesine düşerken, stor perde kullanımı ile bu değer $18,29 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ 'a kadar gerilemiştir. Jaluzi kullanımında ise soğutma enerji tüketiminin $26,02 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle stor perdelerin yaz döneminde güneş kazançlarını sınırlayarak soğutma yüklerini azaltmada daha etkili olduğunu göstermektedir.

Aydınlatma enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise, gölgeleme elemanlarının doğal aydınlatma düzeyi üzerindeki etkisi net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Mevcut durumda $5,81 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ olan aydınlatma enerji tüketimi, sabit güneş kırıcı kullanımı ile $8,39 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ 'a, stor perde kullanımı ile $9,15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ 'a ve jaluzi kullanımı ile $6,50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ 'a yükselmiştir. Bu artış, gölgeleme elemanlarının iç mekâna giren gün ışığı miktarını azaltması sonucunda yapay aydınlatma ihtiyacının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.9: Güneş kırıcıların enerji tüketimine etkisinin incelenmesi

3.4 Bina Toplam Aşırı Isınma Saatleri

Seçilen binanın güney-batı ve kuzey-doğu cephelerinde benzer özelliklere ait iki farklı sınıfın, yapılan analizler sonucunda elde edilen iç sıcaklıkları analiz edilirken 1 Mayıs ile 30 Eylül tarihleri arasındaki zaman dilimine ait 3672 saat (soğutma dönemi) dikkate alınmıştır. Literatürde sıkça kullanılan eşik sıcaklık değerleri için 26°C, 27°C, 30°C ve 32°C ile ısıtma sistemleri için dikkate alınan 19°C için analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Referans yıl ve referans binaya ait aşırı ısınma süreleri

Bina	Güneş kırıcısı	Aşırı ısınma süreleri				
		<19	>26	>27	>30	>32
BESYO KD	Mevcut	167	1137	1085	765	571
	Sabit kırıcı	197	1076	984	595	370
	Stor	190	1109	1034	677	470
	Jaluzi	168	1128	1070	720	543
BESYO GB	Mevcut	52	1463	1338	931	689
	Sabit kırıcı	73	1266	1121	655	438
	Stor	65	1440	1328	830	644
	Jaluzi	58	1470	1357	901	678

Tablo 3.1’de, mevcut iklim koşulları altında referans bina için hesaplanan aşırı ısınma süreleri sunulmaktadır. Sonuçlar, güney-batı (GB) cephele mekânların kuzey-doğu (KD) cephele mekânlara kıyasla belirgin şekilde daha yüksek aşırı ısınma sürelerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle >26°C ve >27°C eşik değerlerinde GB cephede

kaydedilen süreler, KD cepheye göre anlamlı derecede fazladır. Bu durum, güneş ışınımına daha uzun süre maruz kalan cephelerin aşırı ısınmaya karşı daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır. Gölgeleme stratejileri incelendiğinde, mevcut durumla karşılaştırıldığında tüm sistemlerin aşırı ısınma sürelerini azalttığı görülmektedir. Sabit güneş kırıcılar, özellikle $>30^{\circ}\text{C}$ ve $>32^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek eşik sıcaklıklarda en büyük düşüşü sağlayarak en etkili çözüm olarak öne çıkmaktadır. Stor perdeler orta düzeyde bir iyileşme sunarken, jaluzi sistemlerinin mevcut duruma kıyasla sınırlı bir iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir. Mevcut iklim koşullarında dahi, cephe yönelimi ve gölgeleme tipinin aşırı ısınma üzerinde belirleyici olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3.2: 2030 yılı için aşırı ısınma süreleri

Bina	Güneş kırıcı	Aşırı ısınma süreleri				
		<19	>26	>27	>30	>32
BESYO KD	Mevcut	132	1524	1454	1025	765
	Sabit kırıcı	114	1442	1319	797	496
	Stor	98	1486	1386	907	630
	Jaluzi	77	1512	1434	965	728
BESYO GB	Mevcut	27	1960	1793	1248	923
	Sabit kırıcı	22	1696	1502	878	587
	Stor	16	1930	1780	1112	863
	Jaluzi	4	1970	1818	1207	909

2030 yılına ait sonuçlar (Tablo 3.2), mevcut yıla kıyasla aşırı ısınma sürelerinde belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Hem KD hem de GB cephelerde $>26^{\circ}\text{C}$ ve $>27^{\circ}\text{C}$ eşiklerinin aşılma süreleri artmış, özellikle GB cephede aşırı ısınma neredeyse soğutma döneminin büyük bir kısmını kapsar hâle gelmiştir. Bu durum, iklim değişikliğinin kısa vadede bile bina termal konforu üzerinde önemli etkiler oluşturacağını ortaya koymaktadır.

Gölgeleme sistemleri 2030 senaryosunda da etkisini korumaktadır. Sabit güneş kırıcılar, özellikle $>30^{\circ}\text{C}$ ve $>32^{\circ}\text{C}$ eşiklerinde aşırı ısınma sürelerini anlamlı biçimde azaltarak en etkin çözüm olmaya devam etmektedir. Stor perdeler, mevcut duruma kıyasla daha sınırlı bir iyileşme sunarken, jaluzi sistemlerinin etkisinin giderek azaldığı görülmektedir. Bu tablo, iklim koşulları sertleştikçe pasif önlemlerin tasarım kalitesinin ve konumunun daha kritik hâle geldiğini göstermektedir.

Tablo 3.3: 2050 yılı için aşırı ısınma süreleri

Bina	Güneş kırıcı	Aşırı ısınma süreleri				
		<19	>26	>27	>30	>32
BESYO KD	Mevcut	78	1694	1617	1140	851
	Sabit kırıcı	65	1603	1466	887	551
	Stor	55	1652	1541	1009	700
	Jaluzi	41	1681	1594	1073	809
BESYO GB	Mevcut	-	2180	1994	1387	1027
	Sabit kırıcı	-	1886	1670	976	653
	Stor	-	2146	1979	1237	960
	Jaluzi	-	2190	2022	1342	1010

2050 yılına gelindiğinde (Tablo 3.3) aşırı ısınma süreleri hem süre hem de şiddet açısından ciddi biçimde artmaktadır. KD cephede dahi $>26^{\circ}\text{C}$ eşik değerinin neredeyse tüm soğutma dönemi boyunca aşıldığı, GB cephede ise $>30^{\circ}\text{C}$ ve $>32^{\circ}\text{C}$ eşiklerinin oldukça uzun süreler boyunca gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca $<19^{\circ}\text{C}$ değerinin neredeyse tamamen ortadan kalkması, binanın soğuk konfor riskinden çok sıcak stresine maruz kalacağını göstermektedir. Bu iklim koşullarında sabit güneş kırıcıların sağladığı azalma, diğer sistemlere kıyasla daha belirgin hâle gelmiştir. Stor perdeler ve jaluzi sistemleri, aşırı sıcaklıkların yükseldiği bu senaryoda sınırlı bir etki sunmakta, özellikle GB cephede aşırı ısınmayı kontrol etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu bulgular, 2050 sonrası için sadece kullanıcı kontrollü gölgeleme çözümlerinin yeterli olmayabileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3.4: 2100 yılı için aşırı ısınma süreleri

Bina	Güneş kırıcı	Aşırı ısınma süreleri				
		<19	>26	>27	>30	>32
BESYO KD	Mevcut	-	2285	2181	1538	1148
	Sabit kırıcı	-	2163	1978	1196	744
	Stor	-	2229	2078	1361	945
	Jaluzi	-	2267	2151	1447	1091
BESYO GB	Mevcut	-	2941	2689	1871	1385
	Sabit kırıcı	-	2545	2253	1317	880
	Stor	-	2894	2669	1668	1294
	Jaluzi	-	2955	2728	1811	1363

2100 yılına ait sonuçlar (Tablo 3.4), aşırı ısınmanın artık istisnai bir durum olmaktan çıkıp binanın baskın termal davranışı hâline geldiğini göstermektedir. Hem KD hem de GB cephelerde $>26^{\circ}\text{C}$ ve $>27^{\circ}\text{C}$ eşikleri soğutma döneminin büyük bir bölümünde aşılmakta, GB cephede $>30^{\circ}\text{C}$ ve $>32^{\circ}\text{C}$ eşikleri kritik seviyelere ulaşmaktadır. Bu durum, mevcut bina tipolojisinin ve pasif önlemlerin, yüzyıl sonu iklim koşulları altında ciddi biçimde zorlanacağını ortaya koymaktadır.

Sabit güneş kırıcılar bu senaryoda dahi en etkili çözüm olarak öne çıkmakla birlikte, sağlanan iyileştirmenin mutlak aşırı ısınma problemini ortadan kaldırmak için yeterli olmadığı görülmektedir. Stor ve jaluzi sistemleri ise aşırı sıcaklıkların şiddeti karşısında oldukça sınırlı bir katkı sağlamaktadır. Bu tablo, 2100 yılı koşullarında yalnızca gölgeleme önlemlerinin yeterli olmayacağını ve daha bütüncül adaptasyon stratejilerine ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.

Tablo 3.3'ten Tablo 3.6'ya doğru ilerledikçe, aşırı ısınma sürelerinin hem zamansal olarak uzadığı hem de daha yüksek sıcaklık eşiklerine doğru kaydığı açıkça görülmektedir. İklim değişikliği etkisiyle $<19^{\circ}\text{C}$ gibi düşük sıcaklıkların tamamen ortadan kalktığı, buna karşılık $>30^{\circ}\text{C}$ ve $>32^{\circ}\text{C}$ gibi kritik eşiklerin giderek daha baskın hâle geldiği belirlenmiştir. Güney-batı cepheler tüm senaryolarda en riskli alanlar olarak öne çıkarken, kuzey-doğu cepheler dahi yüzyıl sonuna doğru ciddi aşırı ısınma riski taşımaktadır.

Gölgeleme sistemleri arasında tüm senaryolarda en tutarlı ve etkili çözüm sabit güneş kırıcılar olmuştur. Stor perdeler ve jaluzi sistemleri ise mevcut iklim koşullarında kabul edilebilir bir iyileştirme sağlarken, iklim sertleştikçe etkilerini kaybetmektedir. Bu karşılaştırmalı sonuçlar, gelecekte üniversite binalarının tasarımında ve yenilenmesinde

yalnızca enerji verimliliği değil, iklim değişikliğine karşı termal dayanıklılığın da temel bir kriter olarak ele alınması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, iklim değişikliği etkisi altında üniversite binalarında oluşan aşırı ısınma probleminin mevcut durum ve gelecek iklim senaryoları kapsamında incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Balıkesir Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi binası referans alınarak oluşturulan detaylı bina enerji modeli, güncel ölçüm verileriyle kalibre edilmiş ve farklı iklim senaryoları altında termal konfor davranışı analiz edilmiştir. Ayrıca, çeşitli gölgeleme stratejilerinin aşırı ısınma üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Öncelikle mevcut bina modelinin doğruluğu, elektrik ve doğal gaz tüketimlerine ait simülasyon sonuçlarının gerçek ölçüm verileriyle karşılaştırılması yoluyla test edilmiştir. Hesaplanan MBE ve CVRMSE değerlerinin ASHRAE Kılavuz 14–2002’de belirtilen sınırlar içerisinde kalması, oluşturulan modelin güvenilir olduğunu ve ileri analizler için uygun bir temel sunduğunu göstermiştir. Bu durum, binanın enerji performansının ve iç ortam sıcaklık davranışının geleceğe yönelik senaryolarda da sağlıklı biçimde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Mevcut iklim koşulları altında yapılan analizler, özellikle yaz aylarında ve güneşlenmenin yoğun olduğu saatlerde iç ortam sıcaklıklarının konfor sınırlarına yaklaştığını göstermektedir. Geniş pencere alanlarına sahip cephelerde, özellikle güney ve batı yönelimli mekânlarda aşırı ısınma eğiliminin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, mevcut yıl için gece saatlerinde sıcaklıkların görece düşmesi sayesinde doğal soğumanın kısmen sağlanabildiği ve aşırı ısınma süresinin sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu durum, mevcut iklim koşullarında binanın henüz kritik bir aşırı ısınma problemi yaşamadığını, ancak riskin özellikle yaz dönemlerinde belirginleştiğini ortaya koymaktadır.

2100 yılına ait iklim senaryoları kullanılarak yapılan analizler ise mevcut durumdan belirgin biçimde farklı bir tablo ortaya koymuştur. Sıcaklık dağılım grafikleri, yüksek sıcaklıkların yalnızca gündüz saatlerinde değil, gece boyunca da etkisini sürdürdüğünü göstermektedir. Gece sıcaklıklarındaki artış, binanın doğal soğuma potansiyelini önemli ölçüde azaltmakta ve iç mekânda biriken ısının atılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, tropikal gece sayısının artacağına ve yaz döneminde sürekli yüksek iç ortam sıcaklıklarının hâkim olacağına işaret etmektedir. Ayrıca, sıcak dönemlerin yıl içerisindeki süresinin uzadığı; yaz koşullarının daha

erken başladığı ve daha geç sona erdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, gelecekte binanın aşırı ısınma riskinin hem süre hem de şiddet açısından önemli ölçüde artacağını göstermektedir.

Güneş radyasyonu verilerinin analizi de bu sonuçları destekler niteliktedir. Mevcut yıl için güneş radyasyonunun belirgin bir mevsimsel döngü izlediği ve yaz aylarında zirve yaptığı görülürken, 2100 yılı senaryosunda yüksek radyasyon değerlerinin daha uzun bir zaman aralığına yayıldığı tespit edilmiştir. Özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında radyasyon seviyelerindeki artış, bina açısından istenmeyen güneş kazançlarının yıl geneline yayılacağını göstermektedir. Bu durum, yalnızca yaz aylarında değil, geçiş mevsimlerinde de aşırı ısınma riskinin artabileceğine işaret etmektedir. Artan güneş radyasyonu, yenilenebilir enerji potansiyeli açısından olumlu bir unsur olmakla birlikte, gölgeleme ve cephe tasarımı açısından gerekli önlemler alınmadığı takdirde iç mekân konforunu olumsuz yönde etkileyecektir.

Çalışmada incelenen gölgeleme stratejilerinin sonuçları değerlendirildiğinde, dış cephede uygulanan sabit güneş kırıcıların aşırı ısınmayı azaltmada en etkili çözümlerden biri olduğu görülmüştür. Bu sistemler, güneş ışınımını binaya girmeden önce engellediği için iç mekânda oluşan ısı kazançlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Jaluzi sistemleri ise ayarlanabilir yapıları sayesinde günün farklı saatlerinde güneş kontrolüne olanak tanıyarak hem termal hem de görsel konfor açısından dengeli bir çözüm sunmaktadır. Stor perdeler ise uygulama kolaylığına rağmen, özellikle iç mekânda kullanıldıklarında dış gölgeleme sistemlerine kıyasla daha sınırlı bir etki göstermiştir. Bununla birlikte, tüm gölgeleme çözümlerinin, gölgeleme uygulanmayan duruma kıyasla iç ortam sıcaklıklarını düşürdüğü ve aşırı ısınma süresini azalttığı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, iklim değişikliğinin üniversite binalarında aşırı ısınma riskini gelecekte ciddi biçimde artıracaklarını açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek yalıtım seviyesine ve geniş cam yüzeylere sahip eğitim binalarında, sadece enerji verimliliğine odaklanan tasarım yaklaşımlarının yetersiz kalacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, yeni yapılacak binalarda ve mevcut binaların yenilenmesinde, geleceğe yönelik iklim senaryolarının mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Gölgeleme elemanları, doğal ve gece havalandırması gibi pasif stratejiler, iklimlendirme sistemlerine olan bağımlılığı azaltarak hem enerji tüketimini düşürmekte hem de kullanıcı konforunu artırmaktadır.

Sonuç olarak bu alışma, Türkiye koşullarında aşırı ısınma konusunun yalnızca gelecekteki bir risk değil, bugünden ele alınması gereken bir tasarım ve işletme problemi olduğunu göstermektedir. Üniversite binaları gibi yoğun kullanıma sahip yapılarda, iklim değişikliğine uyumlu ve dayanıklı tasarım yaklaşımlarının benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tez kapsamında elde edilen bulguların, ileride hazırlanacak ulusal standartlara, tasarım rehberlerine ve bina yenileme stratejilerine bilimsel bir altyapı sunması beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Ahmad, R. M., El-Sayed, Z., Taha, D., Shokry, H., and Mahmoud, H. (2021).** An approach to select an energy-efficient shading device for the south-oriented façades in heritage buildings in Alexandria, Egypt. *Energy Reports*, 7, 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.024>
- Amaripadath, D., Rahif, R., Velickovic, M., and Attia, S. (2023).** A systematic review on role of humidity as an indoor thermal comfort parameter in humid climates. *Journal of Building Engineering*, 68, 106039.
- Aras, H., Balli, O., and Hepbasli, A. (2006).** Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 47(15–16), 2240–2249. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.11.024>
- Attia, S., Benzidane, C., Rahif, R., Amaripadath, D., Hamdy, M., Holzer, P., Koch, A., Maas, A., Moosberger, S., Petersen, S., Mavrogianni, A., Hidalgo-Betanzos, J. M., Almeida, M., Akander, J., Bakhtiari, H. K., Kinnane, O., Kosonen, R., and Carlucci, S. (2023).** Overheating calculation methods, criteria, and indicators in European regulation for residential buildings. *Energy and Buildings*, 292, 113170. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113170>
- Baba, F. M., Ge, H., Wang, L., and Zmeureanu, R. (2022a).** Assessing and mitigating overheating risk in existing Canadian school buildings under extreme current and future climates. *Energy and Buildings*, 279, 112710. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112710>
- Baba, F. M., Hussein, M. H., Saleh, S., Baba, M., and Awad, J. (2023a).** Mitigating undercooling and overheating risk in existing desert schools under current and future climate using validated building simulation model. *Building and Environment*, 245, 110871. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110871>
- Baba, F. M., Hussein, M. H., Saleh, S., Baba, M., and Awad, J. (2023b).** Mitigating undercooling and overheating risk in existing desert schools under current and future climate using validated building simulation model. *Building and Environment*, 245, 110871. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110871>
- Bakirci, K. (2015).** Models for the estimation of diffuse solar radiation for typical cities in Turkey. *Energy*, 82, 827–838. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.093>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bellia, L., De Falco, F., and Minichiello, F.** (2013). Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Applied Thermal Engineering*, 54(1), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039>
- Caner, I.** (2025). Comparative study of overheating assessment approaches in university buildings: Impact of different climate zones and shading devices in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 99, 111536. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.111536>
- Cho, J., Yoo, C., and Kim, Y.** (2014). Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. *Energy and Buildings*, 82, 771–785. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.092>
- Colclough, S., and Salaris, C.** (2023). Quantifying overheating in nZEB Irish residential buildings. An analysis of recorded interior temperatures of Irish newbuild and retrofit residential buildings against CIBSE, Passive House and WHO overheating criteria and recorded occupant satisfaction. *Energy and Buildings*, 303, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113571>
- Farahani, A. V., Kravchenko, I., Jokisalo, J., Korhonen, N., Jylhä, K., and Kosonen, R.** (2023). Overheating assessment for apartments during average and hot summers in the Nordic climate. *Building Research and Information*, 52(3), 273–291. <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2253338>
- Ghosh, A., and Neogi, S.** (2018). Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition. *Solar Energy*, 169, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.025>
- Guo, J., Xia, D., Zhang, L., Zou, Y., Yang, X., Xie, W., and Zhong, Z.** (2023). Future indoor overheating risk for urban village housing in subtropical region of China under long-term changing climate. *Building and Environment*, 246, 110978. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110978>
- Halsey T.**, Environment Design, CIBSE Guide A, 2010.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Han, R., Yang, Y. M., Dietrich, J., Luebke, A., Mayer-Pröschel, M., and Noble, M.** (2008). Systemic 5-fluorouracil treatment causes a syndrome of delayed myelin destruction in the central nervous system. *Journal of Biology*, 7(4), 12. <https://doi.org/10.1186/jbiol69>
- Huo, H., Xu, W., Li, A., Lv, Y., and Liu, C.** (2021). Analysis and optimization of external venetian blind shading for nearly zero-energy buildings in different climate regions of China. *Solar Energy*, 223, 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.046>
- Huo, H., Xu, W., Li, A., Wu, J., and Guo, J.** (2023). A simple evaluation method of external Venetian blind shading performance for nearly zero energy buildings. *Renewable Energy*, 218, 119260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119260>
- Kim, J., Xiong, J., De Dear, R., Parkinson, T., Jeong, B., Wu, Z., Sadeghi, M., and Chen, D.** (2023). Testing the applicability of CIBSE overheating criteria to Australian subtropical residential contexts. *Building and Environment*, 246, 110987. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110987>
- Koç, S. G., and Kalfa, S. M.** (2021). The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions. *Journal of Building Engineering*, 44, 102653. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102653>
- Kunwar, N., Cetin, K. S., Passe, U., Zhou, X., and Li, Y.** (2020). Energy savings and daylighting evaluation of dynamic venetian blinds and lighting through full-scale experimental testing. *Energy*, 197, 117190. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117190>
- Ma, Y., Lauwaet, D., Kouti, A., and Verbeke, S.** (2023). A toolchain to evaluate the impact of urban heat island and climate change on summer overheating at district level. *Urban Climate*, 51, 101602. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101602>
- Nicoletti, F., Kaliakatsos, D., and Parise, M.** (2023). Optimizing the control of Venetian blinds with artificial neural networks to achieve energy savings and visual comfort. *Energy and Buildings*, 294, 113279. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113279>
- Norouzasas, A., Tabadkani, A., Rahif, R., Amer, M., Van Dijk, D., Lamy, H., and Attia, S.** (2023). Implementation of ISO/DIS 52016-3 for adaptive façades: A case study of an office building. *Building and Environment*, 235, 110195. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110195>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Oleskowicz-Popiel, C., and Sobczak, M.** (2014). Effect of the roller blinds on heat losses through a double-glazing window during heating season in Central Europe. *Energy and Buildings*, 73, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.032>
- Özturan, M. K., and Seyhan, A. K.** (2024). Determination of optimum insulation thickness of building walls according to four main directions by accounting for solar radiation: A case study of Erzincan, Türkiye. *Energy and Buildings*, 304, 113871. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113871>
- Pinto, M. C., Crespi, G., Dell’Anna, F., and Becchio, C.** (2022). Combining energy dynamic simulation and multi-criteria analysis for supporting investment decisions on smart shading devices in office buildings. *Applied Energy*, 332, 120470. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120470>
- Silva, A. S., and Ghisi, E.** (2014). Uncertainty analysis of the computer model in building performance simulation. *Energy and Buildings*, 76, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.070>
- Tan, Y., Peng, J., Luo, Y., Gao, J., Luo, Z., Wang, M., and Curcija, D. C.** (2021). Parametric study of venetian blinds for energy performance evaluation and classification in residential buildings. *Energy*, 239, 122266. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122266>
- Tian, Z., Zhang, S., Deng, J., and Hrynyszyn, B. D.** (2020a). Evaluation on Overheating Risk of a Typical Norwegian Residential Building under Future Extreme Weather Conditions. *Energies*, 13(3), 658. <https://doi.org/10.3390/en13030658>
- Tian, Z., Zhang, S., Deng, J., and Hrynyszyn, B. D.** (2020b). Evaluation on Overheating Risk of a Typical Norwegian Residential Building under Future Extreme Weather Conditions. *Energies*, 13(3), 658. <https://doi.org/10.3390/en13030658>
- TS 825**, 2013, Türkiye Bina Yalıtım Standardı, Ankara, Türkiye.
- Wang, Y., Chen, Y., and Li, C.** (2020). Energy performance and applicability of naturally ventilated double skin façade with Venetian blinds in Yangtze River Area. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102348. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102348>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhao, X., Wei, A., Zou, S., Dong, Q., Qi, J., Song, Y., and Shi, L. (2024). Controlling naturally ventilated double-skin façade to reduce energy consumption in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 202, 114649. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114649>

Zheng, C., Chen, C., Hong, X., Zhang, W., Yang, R., and Shi, F. (2024). Experimental evaluation of the thermal, lighting, and energy performances of a mechanically ventilated double-skin façade with Venetian blinds and a light shelf. *Energy and Buildings*, 306, 113947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113947>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Taner Zafer TAKMAZ
Doğum tarihi ve yeri : 14/03/1988 - İskenderun
e-posta : taner_takmaz@hotmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği/Bölümü	2011
Lise	Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi	2006

Yayın Listesi

- Caner, İ. and Takmaz, T.Z.** (2024). Investigation of Emissions of Natural Gas-Fired Burners Used in Industrial Wafer Baking Ovens. 9th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, Mardin, Türkiye.
- Caner, İ. and Takmaz, T.Z.** (2024). Investigation of the Effect of Climate Change on Overheating. UMTEB – XVI International Scientific Research Congress, 2024, Adana, Türkiye. **[Tezden türetilmiştir]**