

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİNA ENERJİ
TÜKETİMİNE ETKİSİNİN ÖRNEK YAPI
KABUĞU PARAMETRELERİ DEĞİŞİMİ
İLE ANALİZİ

Mustafa DEHMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Mart, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİNA ENERJİ TÜKETİMİNE
ETKİSİNİN ÖRNEK YAPI KABUĞU PARAMETRELERİ
DEĞİŞİMİ İLE ANALİZİ**

Mustafa DEHMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 13.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

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

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

Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “İklim Değişikliğinin Bina Enerji Tüketimine Etkisinin Örnek Yapı Kabuğu Parametreleri Değişimi İle Analizi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mustafa DEHMEN

İmza

TEŞEKKÜR

İklim değışikliğinin bina tasarımına etkisinin incelendiği ve yapı fiziğinde uygulanabilecek örnek pasif enerji verimliliği önlemlerinin değlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, değeri fikirleri ve önerileriyle beni yönlendiren değeri hocam Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli katkıları ve yorumları için tez savunma jürisi üyelerine teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan aileme tez çalışmam süresince de verdikleri destekten ve emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Mustafa DEHMEN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Hipotez	1
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Tezin Amacı	6
1.4 Tezin Kapsamı	6
2 BİNA ENERJİ MODELLEMESİNDE KULLANILAN İKLİM VERİLERİ VE IPCC İKLİM SENARYOLARI	8
2.1 Türkiye'nin Enerji Görünümü ve Binalarda Enerji Tüketimi.....	8
2.2 IPCC İklim Senaryoları.....	10
2.3 Bina Enerji Modellemesi Senaryolarında Kullanılan İklim Verileri	14
3 ÇOK KATLI BİR KONUT YAPISININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ SENARYOLARININ BELİRLENMESİ	19
3.1 Bina Özellikleri	19
3.1.1 Kat Planları.....	20
3.1.2 Kişi Yoğunluğu ve İnfiltrasyon.....	22
3.1.3 Tasarım Sıcaklık Değerleri.....	22

3.1.4 Aydınlatma ve Priz Yükleri.....	24
3.1.5 Gün Işığından Yararlanma ve Gölgeleme.....	26
3.1.6 Mekanik Sistemler.....	27
3.1.7 Operasyon Saatleri.....	28
3.2 Yapı Kabuğu Alternatifleri	29
3.2.1 Opak Alan Yapı Bileşenleri.....	29
3.2.2 Saydam Alan Yapı Bileşenleri.....	30
3.3 Çalışmada Yer Alan İklim Bölgeleri	31
3.4 Enerji Modellemesi Senaryoları.....	33
4 ENERJİ MODELLEMESİ ÇIKTILARININ KARŞILAŞTIRILMASI	37
4.1 Isıtma Tüketimi Karşılaştırması.....	37
4.1.1 İstanbul Isıtma Tüketimi Sonuçları.....	39
4.1.2 Ankara Isıtma Tüketimi Sonuçları.....	40
4.1.3 İzmir Isıtma Tüketimi Sonuçları.....	43
4.1.4 Adana Isıtma Tüketimi Sonuçları.....	45
4.2 Soğutma Tüketimi Karşılaştırması.....	47
4.2.1 İstanbul Soğutma Tüketimi Sonuçları.....	49
4.2.2 Ankara Soğutma Tüketimi Sonuçları.....	50
4.2.3 İzmir Soğutma Tüketimi Sonuçları.....	52
4.2.4 Adana Soğutma Tüketimi Sonuçları.....	54
4.3 Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Karşılaştırması.....	57
4.3.1 İstanbul Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları..	61
4.3.2 Ankara Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları...	64
4.3.3 İzmir Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları.....	69
4.3.4 Adana Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları....	72
4.4 Değerlendirme.....	76

5 SONUÇ	82
KAYNAKÇA	85
A ASHRAE İKLİM TASARIM KOŞULLARI	88
B ENERJİ MODELLEMESİ SONUÇLARI	91
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	100



SİMGELİSTESİ

W/m ²	Enerji Yoğunluğu
CO ₂	Karbondiyoksit
kWh	Kilowatt-saat
kgCO ₂ e/kWh	Kilowatt-saat Tüketim Başına Karbon Emisyon Eşdeğeri
m ²	Metrekare

KISALTMA LİSTESİ

Ach	Saatlik Hava Değişim Katsayısı
ASHRAE	Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
CDD	Soğutma Derece Gün Değeri
EER	Soğutma Verimlilik Değeri
HDD	Isıtma Derece Gün Değeri
IPCC	Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli
low-E	Düşük Emisyonlu Cam
SHGC	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenlik Katsayısı
SSP	Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar
T	Sıcaklık
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TMY	Tipik Meteorolojik Yıl
TS 825	Binalarda Isı Yalıtım Standardı
U	Yapı Bileşeninin Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
WWR	Pencere Duvar Oranı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Tez çalışmasına ait akış diyagramı.....	7
Şekil 2.1	2023 yılı Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....	8
Şekil 2.2	2023 yılı Türkiye nihai enerji tüketimi.....	9
Şekil 2.3	Ortak sosyo-ekonomik rotalar [18]	12
Şekil 2.4	Ortak sosyo-ekonomik rotalara göre kümülatif CO2 değerleri.....	13
Şekil 2.5	Future weather generator programı arayüzü	16
Şekil 2.6	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, İstanbul.....	17
Şekil 2.7	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, Ankara.....	17
Şekil 2.8	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, İzmir.....	18
Şekil 2.9	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, Adana.....	18
Şekil 3.1	DesignBuilder kat planları.....	21
Şekil 3.2	EnergyPlus programı infiltrasyon girdileri.....	22
Şekil 3.3	Yaz tasarım sıcaklığı psikometrik diyagramı.....	23
Şekil 3.4	Kış tasarım sıcaklığı psikometrik diyagramı.....	23
Şekil 3.5	Isıtma sistemi termostat sıcaklığı	24
Şekil 3.6	Soğutma sistemi termostat sıcaklığı.....	24
Şekil 3.7	DesignBuilder programı güneşliği girdileri	26
Şekil 3.8	EnergyPlus programı güneşliği girdileri	26
Şekil 3.9	DesignBuilder programı gölgeleme girdileri	27
Şekil 3.10	DesignBuilder programı detaylı HVAC sistemi modellemesi.....	28
Şekil 3.11	Saatlik kişi yoğunluğu.....	29
Şekil 3.12	Saatlik aydınlatma ve priz yükleri yoğunluğu.....	29
Şekil 3.13	Solar low-e cam seçenekleri.....	31
Şekil 3.14	Yapı fiziği pasif önlemleri.....	34
Şekil 3.15	Bina DesignBuilder cephe görünümleri.....	35
Şekil 3.16	Modele dahil edilen şehirler.....	36
Şekil 3.17	Modelde kullanılan iklim verileri.....	36
Şekil 4.1	Isıtma doğalgaz tüketimi karşılaştırması, kWh.....	38
Şekil 4.2	TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İstanbul.....	39

Şekil 4.3 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İstanbul.....	40
Şekil 4.4 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Ankara	42
Şekil 4.5 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Ankara.....	42
Şekil 4.6 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İzmir	44
Şekil 4.7 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İzmir	44
Şekil 4.8 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Adana.....	46
Şekil 4.9 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Adana	46
Şekil 4.10 Soğutma elektrik tüketimi karşılaştırması, kWh	48
Şekil 4.11 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İstanbul	49
Şekil 4.12 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İstanbul	50
Şekil 4.13 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Ankara.....	51
Şekil 4.14 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Ankara	52
Şekil 4.15 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İzmir.....	53
Şekil 4.16 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İzmir	54
Şekil 4.17 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Adana.....	56
Şekil 4.18 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Adana	56
Şekil 4.19 Toplam enerji tüketimi karşılaştırması, kWh/m ²	59
Şekil 4.20 Toplam karbon emisyon eşdeğeri karşılaştırması, mtCO ₂ e.....	60
Şekil 4.21 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, İstanbul	61
Şekil 4.22 TMY ve TMY_2009-2023 kuru termometre sıcaklıkları, İstanbul.....	62
Şekil 4.23 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, İstanbul	63
Şekil 4.24 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, Ankara	66
Şekil 4.25 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, Ankara	67
Şekil 4.26 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, İzmir	70
Şekil 4.27 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, İzmir	71
Şekil 4.28 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, Adana.....	73
Şekil 4.29 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, Adana	75
Şekil 4.30 Tüm senaryolar ortalama ısıtma tüketimi.....	79
Şekil 4.31 Tüm senaryolar ortalama soğutma tüketimi.....	80
Şekil A.1 İstanbul iklim tasarım koşulları.....	88
Şekil A.2 Ankara iklim tasarım koşulları	89
Şekil A.3 İzmir iklim tasarım koşulları	89
Şekil A.4 Adana iklim tasarım koşulları	90

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Gelecek yıllar sıcaklık değerleri artışı	13
Tablo 2.2 Gelecek iklim verileri sunan program örnekleri	15
Tablo 3.1 Binada yer alan daire bilgileri.....	19
Tablo 3.2 Binada yer alan ortak alan bilgileri.....	20
Tablo 3.3 Aydınlatma yoğunluk değerleri	25
Tablo 3.4 Ekipman yükleri.....	25
Tablo 3.5 TS 825-2013 standardı bina kabuğu performans değerleri.....	30
Tablo 3.6 ASHRAE 90.1-2022 standardı bina kabuğu performans değerleri	30
Tablo 3.7 İklim bölgeleri.....	32
Tablo 3.8 Isıtma ve soğutma derece gün değerleri	33
Tablo 3.9 Senaryolar	34
Tablo 4.1 Modelde enerji tüketimi yapan sistemler.....	57
Tablo 4.2 Soğutma tüketimi değişim oranları.....	80
Tablo 4.3 Isıtma tüketimi değişim oranları	79
Tablo B.1 Isıtma tüketimi sonuçları, İstanbul.....	91
Tablo B.2 Isıtma tüketimi sonuçları, Ankara	92
Tablo B.3 Isıtma tüketimi sonuçları, İzmir	92
Tablo B.4 Isıtma tüketimi sonuçları, Adana	93
Tablo B.5 Soğutma tüketimi sonuçları, İstanbul.....	93
Tablo B.6 Soğutma tüketimi sonuçları, Ankara.....	94
Tablo B.7 Soğutma tüketimi sonuçları, İzmir.....	94
Tablo B.8 Soğutma tüketimi sonuçları, Adana	95
Tablo B.9 Toplam enerji tüketim değerleri, İstanbul.....	95
Tablo B.10 Toplam enerji tüketim değerleri, Ankara	96
Tablo B.11 Toplam enerji tüketim değerleri, İzmir	96
Tablo B.12 Toplam enerji tüketim değerleri, Adana	97
Tablo B.13 Toplam karbon emisyonu değerleri, İstanbul.....	97
Tablo B.14 Toplam karbon emisyonu değerleri, Ankara.....	98
Tablo B.15 Toplam karbon emisyonu değerleri, İzmir.....	98

Tablo B.16 Toplam karbon emisyonu değerleri, Adana	99
---	----



İklim Değişikliğinin Bina Enerji Tüketimine Etkisinin Örnek Yapı Kabuğu Parametreleri Değişimi ile Analizi

Mustafa DEHMEN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Fosil yakıtlardan uzaklaşma ve enerji verimliliği çalışmalarının artırılması, iklim değişikliği ile mücadele ve adaptasyon yöntemlerinin ana eksenini oluşturmaktadır. Ülkemizde nihai enerji tüketimlerinin sektörlere göre dağılımı analiz edildiğinde binalarda (konut, ticaret ve hizmetler) tüketilen enerji miktarının ilk sırada geldiği görülmektedir. Bu tüketim yoğunluğu diğer ülkelerde de benzer şekilde karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla birçok ülkenin önümüzdeki yıllar içinde iklim değişikliği ile mücadele ve adaptasyon hedeflerini yakalayabilmesi için odaklandığı sektörlerin başında yapı sektörü gelmektedir. Bu tez çalışmasında IPCC 6. Değerlendirme Raporu'nda belirtilen SSP2-4.5 senaryosu dikkate alınarak 2036-2065 yılları arasındaki ortalamayı ifade eden 2050 yılı iklim verileri oluşturulmuştur. Oluşturulan 2050 yılı iklim verileri ile bina enerji simülasyon programlarında kullanılan geçmiş yıllar tipik meteorolojik verileri (TMY) yapılan çalışmada kullanılmıştır. 3 boyutlu modelleme aracı (Design Builder) ve yıllık enerji simülasyon programı (EnergyPlus) ile bina modeli oluşturularak; yapı kabuğu opak alan performans değerleri, saydam alan oranı ve saydam alan güneş

enerji geçirgenliği ile ilgili farklı senaryolar için bina enerji simölasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu senaryolar Türkiye’de dört farklı bölgede yer alan iller için tekrarlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde; enerji simölasyon modellerinde kullanılan farklı iklim verilerinin bina yıllık enerji tüketimine olan etkileri değerlendirilmiştir. Buna ek olarak tipik bir apartman binası için yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında; iklim değişikliği sonucu ortaya çıkmakta olan yeni iklim verilerinin bina kabuğu tasarımına olan etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklım değişikliği, iklim senaryoları, yapı fiziği, pasif enerji verimliliği önlemleri, bina enerji modellemesi



ABSTRACT

Analysis of the Effect of Climate Change on Building Energy Consumption by Changing in Sample Building Envelope Parameters

Mustafa DEHMEN

Department of Architecture

Master of Science

Supervisor: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Moving away from fossil fuels and increasing energy efficiency studies constitute the main axis of climate change adaptation and mitigation methods. When the distribution of final energy consumption by sectors is analyzed in our country, it is seen that the amount of energy used in buildings (residential, commercial, and service buildings) comes first. This end use intensity is encountered in a similar way in other countries. Therefore, the construction sector is at the forefront of the sectors that many countries focus on to achieve their climate change adaptation and mitigation targets in the coming years. In this thesis study, 2050 climate data representing the average between 2036-2065 was created by considering the SSP2-4.5 scenario specified in the IPCC 6th Assessment Report. The created 2050 climate data and the past years typical meteorological data (TMY) used in building energy simulation programs were used in the study. Building model was created with the 3D modeling tool (Design Builder) and annual energy simulation program (EnergyPlus) and building energy simulation studies were performed for different scenarios regarding building façade opaque elements' performance values, window to wall area ratio and solar heat gain coefficient of façade glass. These scenarios were repeated for cities located in four different regions in Türkiye. As a result of

the studies conducted; the effects of different climate data used in energy simulation models on annual building energy consumption were evaluated. Additionally, comparison of energy efficiency measures applied in the building physics of a typical apartment building was made. Within the scope of this study, it is aimed to reveal the effect of climate change on the building envelope design by using predicted weather data.

Keywords: Climate change, climate scenarios, building physics, passive energy efficiency measures, building energy model



1.1 Hipotez

Bina yıllık enerji tüketimi hesapları için enerji modellemesi simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu modelleme programlarında kullanılan iklim verileri ise tipik meteorolojik yılları içermektedir. Dolayısıyla değişen iklim koşullarının bina enerji modellemesi çalışmalarına yansıtılamadığı öngörülmektedir. Aynı zamanda bina kabuğunda uygulanan ısı yalıtım kalınlıkları binanın yer aldığı iklim koşullarına göre farklılık göstermektedir. Özellikle bina kabuğunda yer alan opak alanlar için ısıl geçirgenlik katsayı değerleri farklı iklim bölgeleri için ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanmıştır. Bununla birlikte bina cephesinde yer alan saydam alan oranı ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri için de bazı standartlarda öneriler mevcuttur. Farklı iklim bölgelerinde yer alan binalarda bina kabuğu performans değerleri ve cephe saydam alan oranının yıllık enerji tüketimine olan etkisinin ne kadar olduğu ise bina özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir.

İklim değişikliği sonucu ortaya çıkacak olan yeni iklim verilerinin ortalama bina ömrü göz önünde bulundurularak bugün yapılacak çok katlı bir konut binası kabuğuna etkisinin değerlendirilmesi ile iklim değişikliğine dirençli bir yapı tasarımının mümkün olacağı düşünülmektedir.

Bu hipotez doğrultusunda; farklı iklim bölgelerinde yer alan çok katlı bir tipik konut binası için yapı fiziğinde uygulanacak pasif enerji verimliliği önlemleri ayrı senaryolarda incelenmiştir. Buna ek olarak tipik meteorolojik yıllar ve gelecek yıllar için öngörülen iklim verileri kullanılarak her bir senaryo için ayrı ayrı enerji modellemesi simülasyonları yapılmıştır. Yapılan enerji modellemeleri sonuçları karşılaştırılarak hipotezin doğruluğu araştırılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Yeni yapılan bir binanın ortalama ömrünün 50 yıl kadar olduğu düşünüldüğünde gelecek iklim verilerinin bina enerji performansında önemli etkilerinin olacağı öngörülmektedir [1]. Binalarda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapı fiziğinde uygulanabilecek önlemlerle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak yapılan literatür çalışması sonucunda özellikle Türkiye özelinde gelecek iklim senaryolarının baz alındığı bina enerji performans değerlendirmelerinin oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması amacıyla yapılan literatür taramasında karşılaşılan ilişkili araştırmalar aşağıda özetlenmektedir.

Ferdyn-Grygierek ve diğerlerinin (2021) yapmış olduğu çalışmada, küresel ısınmanın etkilerini ve farklı iklim senaryolarının bina enerji performansı üzerindeki sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmada Polonya'da bulunan tek katlı bir konut incelenmiş ve üç farklı iklim verisi (TMY, 2018 yılı gerçek iklim verileri ve 2050 yılı için iklim projeksiyonu) kullanılarak bina enerji talebi ve termal konfor koşulları değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, geleneksel ısı yalıtımı ile pasif bina standartlarına uygun ısı yalıtımı arasındaki farklar analiz edilmiştir. İklim verileri, CCWorldWeatherGen programı kullanılarak gelecekteki iklim koşullarına uyarlanmıştır. İyi yalıtılmış bina senaryosunda ısınma talebi azalırken, soğutma ihtiyacı önemli ölçüde artmıştır. Gelecekte, iyi yalıtımlı binaların "termos etkisi" nedeniyle yaz aylarında daha fazla enerji talep edebileceği sonucuna varılmıştır [2].

Sabunas ve Kanapickas (2017) Litvanya'nın Kaunas şehrindeki üç katlı bir apartman dairesi için iklim değişikliğinin bina enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) belirtilen senaryoların kullanıldığı çalışmada 2020, 2050 ve 2080 yıllarına yönelik enerji talebi değişimleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara gelecek iklim projeksiyonunda ısıtma tüketiminde önemli bir düşüş olmakla birlikte soğutma tüketiminde de artış gözlemlenmiştir. Ancak bu artışa rağmen ısıtma tüketiminin daha baskın olacağı sonucuna varılmıştır. Enerji verimli binalar, enerji tüketimindeki değişikliklere karşı daha duyarlı bulunmuş ve yalıtım seviyesinin enerji talebi üzerindeki etkisi net bir şekilde ortaya konmuştur [3].

Mangan ve Oral (2020) gelecekteki iklim verilerinin kentsel geometri bağlamında binaların enerji performansına etkilerini incelediği çalışmasında, özellikle hızlı

kentleşme süreci bağlamında İstanbul'un gelecekteki iklim verilerini değerlendirmiştir. Çalışma, kentsel geometri, bina enerji performansı ve iklim değişikliği etkileşimlerinin sürdürülebilir kentsel tasarım süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini vurgulamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre kentsel alanlardaki bina aralıklarının (H/W oranları), güneş ışıınımı ve bina gölgeleme etkilerini etkileyerek enerji performansını önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Artan hava sıcaklıklarının, ısıtma enerjisi tüketiminde azalma ve soğutma enerjisi tüketiminde artışa neden olacağı ve elektrik tüketiminde ciddi bir artış olacağı öngörülmektedir. Elektrik tüketimindeki artışın da CO₂ emisyonlarını artıracığı belirtilmektedir. Soğutma tüketimindeki artış miktarının azaltılması ve termal konfor koşullarında iyileştirme yapılması için aktif soğutma sistemleri yerine pasif çözümlerin değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir [1].

Silva ve diğerleri (2022) yaptıkları çalışmada İsviçre'de binaların soğutma enerji talebini azaltmak için pasif soğutma stratejilerinin potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışma, özellikle gece havalandırması ve pencere gölgelemesi gibi pasif soğutma yöntemlerinin, gelecekteki iklim senaryolarına uyum sağlayarak enerji tüketimini nasıl etkileyebileceğini analiz etmektedir. IPCC 5. Değerlendirme Raporunda yer alan iklim senaryolarının morphing metodu kullanılarak EnergyPlus programına eklendiği çalışmada, yüksek pencere-duvar oranı ve daha yüksek yalıtıma sahip 2000 sonrası inşa edilen modern binaların soğutma talebinde daha yüksek değerlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Pasif önlemlerin de yeni binalarda daha etkili olduğu, bu binaların soğutma taleplerini mutlak ve göreceli olarak düşürebileceği belirtilmektedir. Gelecek iklim koşullarında (2040-2049) pencere gölgelemesi ile soğutma talebinin %71 oranında, gece havalandırması ile de %38 oranında azaltılabileceği sonucuna varılmıştır [4].

Zhai ve Helman (2019) iklim değişikliğinin bina enerji tüketimi ve tasarımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada, gelecekteki iklim senaryolarını modellemek için IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) kapsamında tanımlanan Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP) kullanılmıştır. Gelecekteki saatlik iklim verilerini oluşturmak için mevcut veri setleri üzerine morfolojik algoritmalar uygulanmıştır. Bu yöntem, bina enerji simülasyonlarında kullanılan saatlik hava durumu profillerini üretmiştir. Çalışmada Michigan Üniversitesi kampüsündeki bina stokları, iklim değişikliğinin enerji tüketimi

üzerindeki etkilerini analiz etmek için modellenmiştir. Kampüs enerji tüketimi, farklı iklim senaryoları altında tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre soğutma talebinde %5 ile %90 arasında artış öngörülmekle birlikte ısıtma enerji talebi azalırken toplam HVAC enerji tüketiminde %2 ile %40 arasında artış beklenmektedir. İklim değişikliği etkilerine karşı uyum sağlamak amacıyla soğutma talebi artışı sebebiyle artacak olan elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için enerji altyapısı planlaması yapılması gerektiği belirtilmiştir [5].

Stagnum ve diğerleri (2020) iklim değişikliğinin bina performansı üzerindeki etkilerini ve bu etkilere karşı uyum önlemlerini incelemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapmıştır. Çalışma, özellikle iklim değişikliğine karşı binaların adaptasyonunu ele alan araştırmaları analiz ederek, mevcut bilgi birikimini ve araştırma boşluklarını değerlendirmiştir. Araştırma, 2013-2018 yılları arasında yayımlanmış, binalar ve iklim değişikliği ile ilgili bilimsel makalelere odaklanmıştır. Yapılan araştırma neticesinde bilimsel çalışmaların genellikle sıcak iklimlere odaklandığı belirtilerek soğuk iklimlerde iklim değişikliği etkilerine yönelik uyum stratejileri üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Çoğunlukla bilgisayar simülasyonlarına dayanan literatürün, sahada ve laboratuvar ortamında doğrulanması gerektiği belirtilmiştir. İklim değişikliği etkilerini ele alan bina kodları ve standartları oluşturulması gerektiğine ve bu yönetmeliklerin yerel ve uluslararası bağlamda uyarlanabilir olması gerektiği sonucuna varılmıştır [6].

Rivera ve diğerleri (2021) yaptıkları çalışmada yüksek katlı konut binaları yapı kabuğuna uygulanan pasif enerji verimliliği önlemlerinin yaşam döngüsü sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, duvar yalıtım kalınlığı, çatı yalıtım kalınlığı, pencere-duvar oranı, farklı cam katmanları ve pencere çerçeve malzemesi olmak üzere beş farklı başlıkta yapı fizikine uygulanan pasif önlemler incelenmiştir. İklim değişikliği etkileri ve malzeme üretim süreçleri göz önüne alınarak farklı yapı kabuğu varyantlarının operasyonel ve gömülü emisyonları incelenmiştir. Pasif önlemler, yapı kabuğunun yaşam döngüsü boyunca operasyonel ve gömülü sera gazı emisyonlarının dengelenmesini hedeflemiştir. Ancak, özellikle XPS gibi yüksek emisyon yoğunluklu malzemelerin kullanımı durumunda, bu önlemlerin bazılarının net emisyon artışına neden olabileceği belirtilmiştir. Bina cephesinde yer alan pencere alanının azaltılması toplam bina

kabuğu ile ilgili sera gazı emisyonlarının %28'e kadar azaltabilen en etkili önlem olarak sunulmaktadır [7].

De Masi ve diğerleri (2023) yaptıkları çalışmada, Avrupa'nın farklı iklim bölgelerinde pencere tasarımı parametrelerinin bina enerji performansı ve görsel konfor üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışma, mevcut ve gelecekteki iklim koşullarında pencerelerin enerji taleplerine etkisini değerlendirerek, optimal pencere tasarımını değerlendirmektedir. Cephe pencere oranı, cam ve çerçeve türleri ile gölgeleme sistemleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre daha yüksek pencere-duvar oranlarının (%40 ve üzeri), enerji talebinde büyük artışlara yol açtığı görülmüştür. Seçici camlar, güneş ışıınımını kontrol ederek yaz aylarında aşırı ısınmayı önlerken, kış aylarında doğal ışık seviyelerini düşürmüştür. Daha soğuk iklimlerin bulunduğu şehirler için yapılan çalışmalarda ısıtma talebini minimize etmek için düşük emisyonlu üçlü camlar en etkili çözüm olmuştur. Ancak görsel konfor, düşük güneş ışığı seviyeleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Seçici ve düşük emisyonlu camların bir arada kullanımının enerji performansını artırabileceği değerlendirilmiştir [8].

O'Neill ve diğerleri (2014) iklim değişikliği araştırmalarında kullanılan senaryo matrisi çerçevesini tanıtarak, gelecekteki sosyoekonomik ve çevresel yolları (Shared Socioeconomic Pathways- SSP) tanımlamak ve geliştirmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Çerçeve, iklim değişikliğinin etkileri, uyum ve azaltım stratejileri gibi araştırma konularını ele almak için geniş kapsamlı bir araçtır. SSP'ler, uyum ve azaltım stratejilerinin uygulanabilirliğini ve etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda sunulan beş farklı senaryoda kurgulanan SSP'ler, iklim değişikliği risklerini ve uyum ihtiyaçlarını analiz etmek için temel sağlar. [9].

Rodrigues ve diğerleri (2023) iklim değişikliğinin bina enerji performansı üzerindeki etkilerini analiz etmek için yüksek çözünürlüklü ve güncel bir hava durumu oluşturma programı geliştirmiştir. Bu program, geçmiş iklim verilerini CMIP6 projeksiyonları ve IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6) çerçevesinde morphing metodu kullanarak gelecekteki iklim verilerini üretir. Ücretsiz ve açık kaynaklı olan program, araştırmacıların yazılımı özelleştirmesine ve geliştirmesine olanak tanırken SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 senaryolarını destekler ve 2050 (2036.-2065) ile 2080 (2066–2095) gibi gelecekteki

zaman dilimlerine uyarlanabilir. “Future Weather Generator” programı, bina tasarımı ve performansı üzerine araştırmalarda yüksek doğruluk ve geniş bir kapsam sunarak önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Araştırmacılar, bu aracı kullanarak bina enerji performansını optimize etmek için iklim değişikliği etkilerini daha etkili bir şekilde değerlendirebilir [10].

Literatürde yer alan çalışmalar göz önüne alındığında bina yapı fiziğinde uygulanabilecek pasif enerji verimliliği önlemleri hakkında birçok araştırmanın olduğu görölmektedir. Aynı şekilde gelecek iklim senaryoları ile ilgili de çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak özellikle Türkiye’de bulunan farklı iklim bölgeleri için bina tasarımında iklim değişikliği etkilerinin değerlendirildiği araştırmalar konusunda eksiklik olduğu anlaşılmıştır. Bu tez çalışması ile iklim değişikliğinin Türkiye’deki farklı iklim bölgelerinde bina tasarımına etkisi hakkında literatürdeki boşluğun doldurması hedeflenmektedir.

1.3 Tezin Amacı

Bu tezin amacı; içinde bulunduğumuz son yüzyılda yeryüzünün en önemli sorunlarından biri haline gelen iklim değişikliği ile mücadele ve adaptasyon konusunda çok katlı tipik bir konut binası için oluşturulan farklı senaryoların simüle edilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Tezin amacı doğrultusunda Türkiye’de bulunan dört farklı şehir için IPCC senaryolarının incelenmesi sonucu 2050 yılı iklim verilerinin oluşturulması hedeflenmiştir. Oluşturulan senaryoların karşılaştırılması ile farklı iklim bölgelerinde yer alan binalarda yapı fiziğinde uygulanabilecek pasif önlemlerin bina enerji performansına nasıl etki edeceği ve gelecek iklim verilerinin yıllık enerji tüketiminde yaratacağı değişimlerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

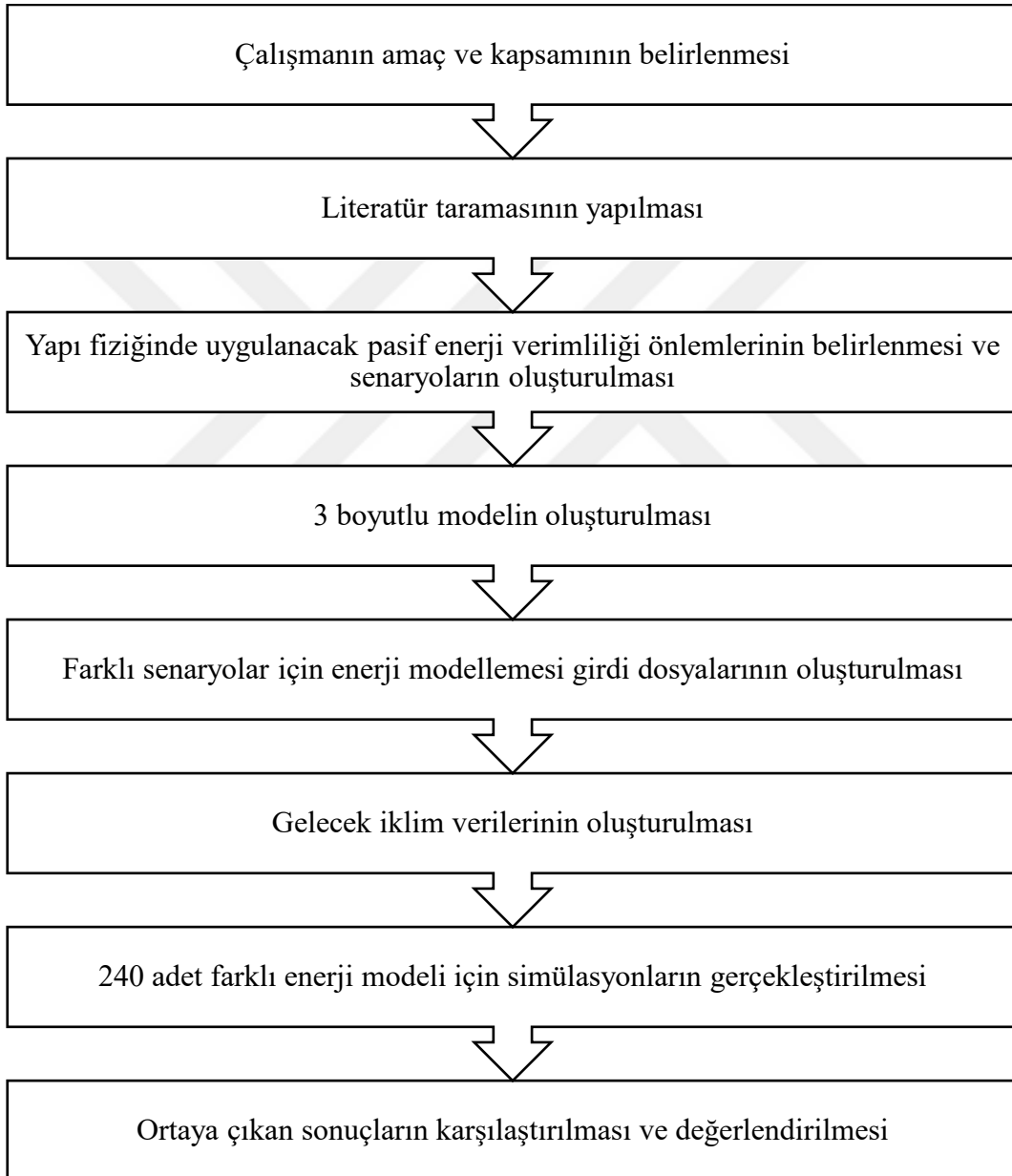
1.4 Tezin Kapsamı

Tez çalışması kapsamında 240 adet farklı senaryo oluşturulmuştur. Hazırlanan senaryolar aşağıdaki parametreleri içermektedir.

- Bina kabuğu performans değerleri
- Cephe saydamlık oranı
- Geçmiş yılları içeren iklim verileri (TMY)

- Gelecek yıllar için öngörülen iklim verileri
- Türkiye’de yer alan dört farklı şehir

Oluşturulan senaryolar için bina enerji modellemesi programı (Design Builder ve EnergyPlus) yardımıyla yıllık enerji tüketim hesapları yapılmıştır. Bu hesaplarda kullanılan gelecek iklim verilerinin üretilmesi için “Future Weather Generator” programı ve EC-Earth3 modeli kullanılmıştır. Bu tezin kapsamı doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalar Şekil 1.1’te özetlenmektedir.



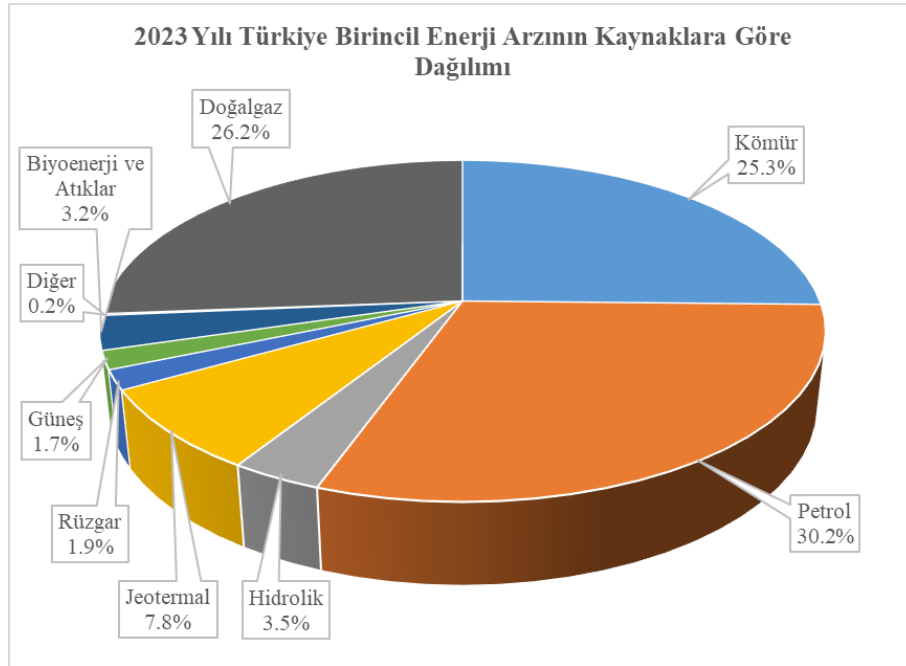
Şekil 1.1 Tez çalışmasına ait akış diyagramı

2

BİNA ENERJİ MODELLEMESİNDE KULLANILAN İKLİM VERİLERİ VE IPCC İKLİM SENARYOLARI

2.1 Türkiye'nin Enerji Görünümü ve Binalarda Enerji Tüketimi

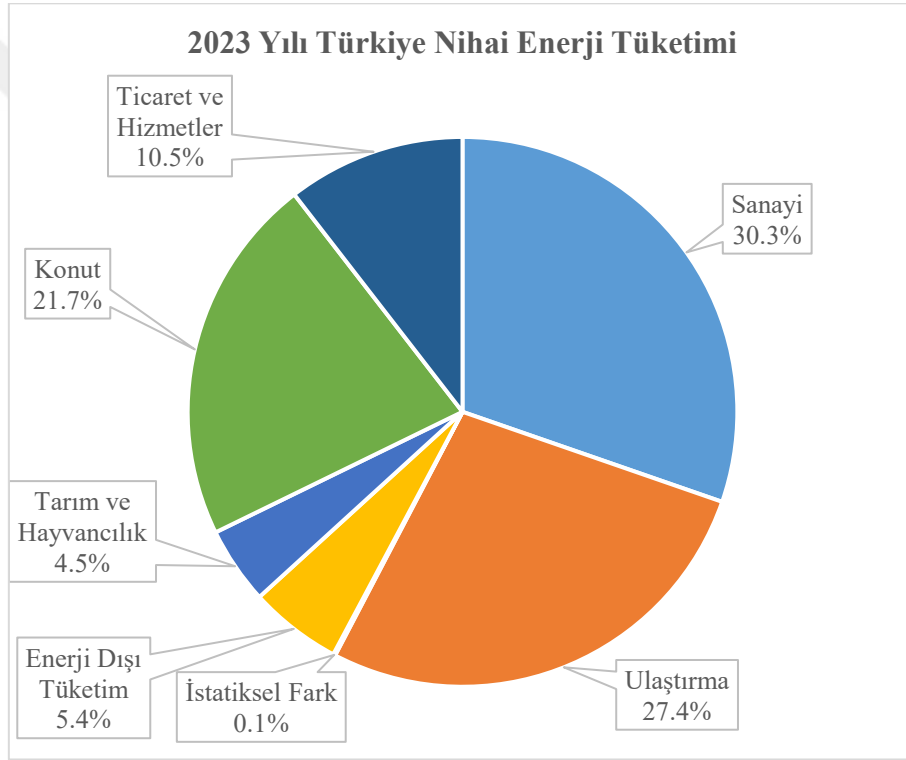
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan 2023 Ulusal Denge Tablosuna göre geçtiğimiz yıl içinde Türkiye birincil enerji arzı 158.422,03 bin TEP şeklinde olmuştur [11]. Bir önceki seneye göre %0,41 oranında birincil enerji arzında artış gözlemlenmiştir. Birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımına baktığımızda ise üç büyük fosil yakıtın (kömür, petrol, doğalgaz) toplam arza oranının %81,7 olduğu hesaplanmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin toplam birincil enerji arzındaki payı ise %18,1 olmuştur. 2023 yılı Türkiye birincil enerji arzının enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 2.1'de paylaşılmaktadır.



Şekil 2.1 2023 yılı Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı

Yerli enerji üretiminin toplam birincil enerji arzını karşılama oranı %31,07 şeklinde olurken yenilenebilir enerji üretiminin yerli enerji üretimindeki payı ise %58,30 hesaplanmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji arzını karşılama payı son beş yılda artış gösterse de artış oranı %1,5 seviyesinde olmuştur.

Birincil enerji arzından “Çevrim ve Enerji Sektörü” enerji arzı çıkarıldığında ortaya çıkan nihai tüketimlere sektörel bazda bakıldığında ise konut sektöründe tüketilen toplam enerji miktarının 26.428,39 bin TEP olduğu görülmektedir. Bu tüketim miktarı toplam nihai tüketimin %21,7’sini oluşturmaktadır. Ticaret ve hizmetler sektörü de dahil edildiğinde 2023 yılı nihai enerji tüketiminin %32,2’sinin bina sektöründe (diğer sektörlerde yer alan binalar dışında) gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 2.2 2023 yılı Türkiye nihai enerji tüketimi

Şekil 2.2’de görülebileceği üzere Türkiye enerji arzının %68,93’lük kısmını ithalat yoluyla sağlamaktadır. Buna ek olarak toplam enerji büyük bir kısmı ise fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla Türkiye enerji arzının büyük çoğunlukla dışa bağımlı ve fosil yakıt kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu sebeple nihai enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan binalarda uygulanacak enerji verimliliği önlemleri iklim krizi ile mücadele ve uyum çalışmaları açısından büyük önem arz etmektedir.

2.2 IPCC İklim Senaryoları

Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988 yılında Birleşmiş Milletlere bağlı iki organizasyon olan Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve BM Çevre Programı tarafından kurulmuştur. İklim değişikliği risklerinin değerlendirildiği çalışmalar sunan kuruluş ilk değerlendirme raporunu 1990 yılında yayınlamıştır. IPCC 6. Değerlendirme Raporunu (AR6) 2021 yılında sunmuştur [12].

2011-2020 yılları arasındaki dönemin 1850-1900 yılları arasındaki dönemle karşılaştırıldığında küresel yüzey sıcaklığı 1,09 °C (0,95-1,20) artış göstermiştir. Küresel yüzey sıcaklığı artışındaki ana faktör olan sera gazı emisyonlarının insan kaynaklı olduğu açıkça ortaya çıkmıştır. 1850 ile 1989 yılları arasındaki CO₂ emisyon artışı sanayi öncesi döneme kıyasla ortaya çıkan artışın %58'ini oluştururken 1990 ile 2019 yılları arasındaki CO₂ emisyon artışı toplam artışın %42'sini oluşturmaktadır. 2019 yılında atmosferik CO₂ konsantrasyonu 410 ppm olarak en az 2 milyon yıldır herhangi bir zamandan daha yüksek seviyededir. [13].

IPCC 6. Değerlendirme Raporunda gelecek iklim projeksiyonları beş farklı senaryo altında incelenmiştir. Birleşik Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) kapsamında iklim modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller, önceki IPCC değerlendirme raporlarında ele alınan iklim modellerine kıyasla, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin yeni ve daha iyi temsillerini ve daha yüksek çözünürlüğü içermektedir. Modellenmiş senaryolar; gelecekteki emisyonları, iklim değişikliğini, ilgili etkileri, riskleri, olası azaltım ve uyum stratejilerini araştırmak için kullanılır ve sosyoekonomik değişkenler ile azaltma seçenekleri dahil olmak üzere bir dizi varsayıma dayanır [14].

Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar (SSP'ler) olarak bilinen senaryolar; nüfus artışı, ekonomik gelişme, teknolojik değişim ve politika seçimleri dahil olmak üzere küresel kalkınmanın gelecekteki yönü hakkında farklı varsayımları temsil eden beş senaryoya dayanmaktadır [15]. Bu senaryolar aşağıdaki gibi özetlenmektedir [16].

SSP1- Sürdürülebilirlik: Bu senaryolarda dünya çevresel sınırlara saygı duyan daha kapsayıcı bir kalkınma yolunu seçmektedir. Eğitim ve sağlık yatırımlarının ön plana alınması ve insan refahının artırılması ekonomik büyüme hedefinin önüne geçmektedir. Daha düşük kaynak kullanımı ve düşük enerji yoğunluğu ile eşitlikçi bir kalkınma yolu seçilmektedir. Senaryolarda belirtilen 1,9 ve 2,6 değerleri iklim

değişimi sebebiyle ortaya çıkan atmosferdeki enerji yoğunluğunu (W/m^2) ifade etmektedir. Örneğin SSP1-1,9 senaryosuna göre 2100 yılında iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan ışımsal yükselme $1,9 W/m^2$ olacaktır.

SSP2- Yolun Ortası: Bu senaryoda dünya, sosyal, ekonomik ve teknolojik eğilimler ve tarihsel kalıplardan belirgin bir şekilde sapmadığı bir yolu izlemektedir. Kalkınma ve gelir artışı, bazı ülkeler için nispeten iyi ilerleme kaydederken diğerleri beklentilerin gerisinde kalarak eşitsiz bir şekilde ilerlemektedir. Küresel ve ulusal kurumlar, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için çalışmakta ancak yavaş ilerleme kaydetmektedir. Genel olarak kaynak ve enerji kullanım yoğunluğu azalmaktadır. Küresel nüfus artışı orta düzeydedir ve yüzyılın ikinci yarısında dengelenmektedir. Gelir eşitsizliği devam etmekle birlikte toplumsal ve çevresel değişikliklere karşı kırılganlığı azaltma zorlukları devam etmektedir.

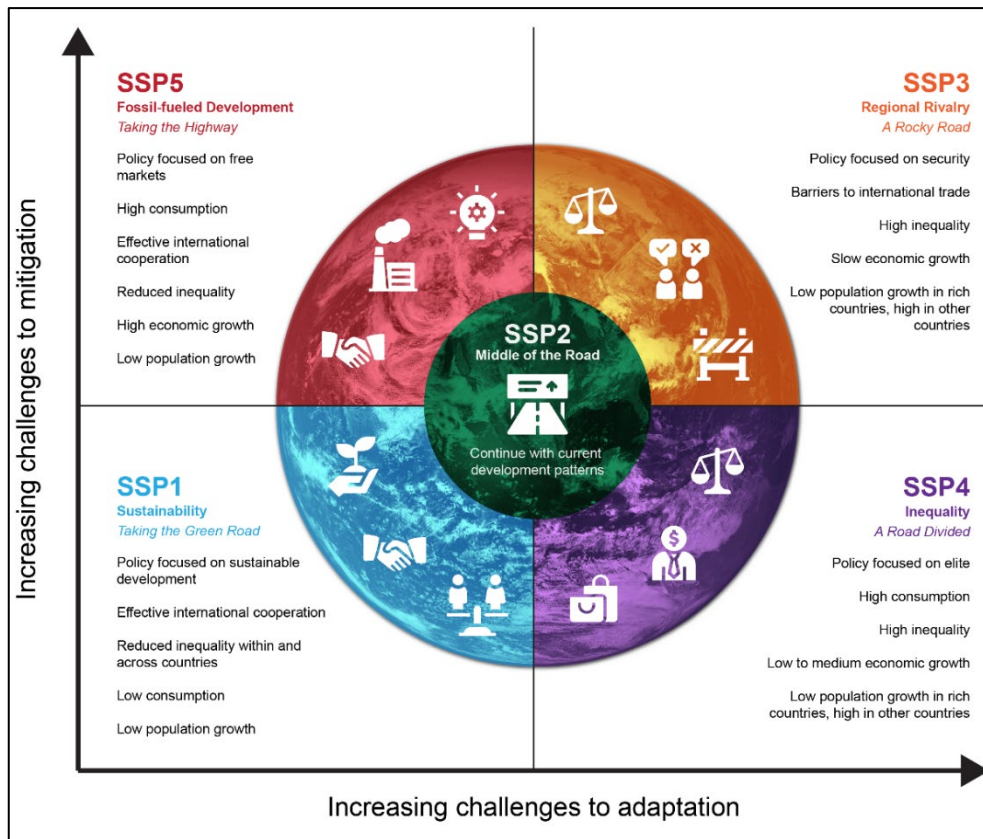
SSP3- Bölgesel Rekabet: İklim değişikliğine adaptasyon ve uyum çalışmalarında büyük zorlukların olacağı öngörülen bu senaryoda; yeniden canlanan milliyetçilik, rekabet ve güvenlikle ilgili endişeler ve bölgesel çatışmalar, ülkeleri giderek daha fazla iç ve bölgesel sorunlara odaklanmaya itmektedir. Politikaların daha fazla ulusal ve bölgesel sorunlara yönelmesi ile ülkeler kendi bölgelerinde enerji ve gıda güvenliği konularına odaklanmaktadır. Eğitim ve teknoloji yatırımlarının azaltıldığı bu senaryoda eşitsizliğin zamanla daha kötüleşmesi beklenmektedir.

SSP4- Eşitsizlik: İnsan sermayesine yapılan son derece eşitsiz yatırımlar, ekonomik fırsat ve siyasi güçteki artan eşitsizliklerle birleşerek hem ülkeler arasında hem de ülke içinde daha derin bir eşitsizliğe yol açmaktadır. Küresel ekonomide bilgi ve sermaye yoğun sektörlerle sahip gelişmiş ülkeler ile emek yoğun bir ekonomi, düşük gelirli ve düşük teknolojiye sahip ülkeler arasında zamanla eşitsizliğin artacağı öngörülmektedir. Bu senaryoda sosyal uyum bozularak çatışma ve huzursuzluk giderek daha yaygın hale gelmektedir. Küresel olarak bağlantılı enerji sektörü, kömür ve petrol gibi karbon yoğun yakıtlara yatırım yapmakla birlikte düşük karbonlu enerji kaynaklarına da yatırım yapar. Çevre politikaları, orta ve yüksek gelirli bölgelerdeki yerel sorunlara odaklanır.

SSP5- Fosil Yakıt Yoğun Kalkınma: Yüzyıl boyunca küresel gıda talebinin iki katına ve enerji talebinin ve sera gazı emisyonlarının üç katına kadar çok yüksek

fosil yakıt kullanımı seviyeleri sergileyerek senaryo literatürünün birkaç boyutta üst sınırını işaretler. SSP5, azaltım konusunda yüksek sosyoekonomik zorluklar ve adaptasyon konusunda düşük sosyoekonomik zorluklarla karakterize edilir. Yüksek ekonomik büyümenin yakalanabilmesi için yoğun malzeme üretim ve tüketim kalıpları ile bol miktarda fosil yakıt kaynaklarına bağımlılıkla kaynak yoğun bir kalkınma dünyasını tanımlar. Bu durum, yüksek seviyelerde sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliği etkilerinin azaltımı için büyük zorluklara yol açar [17].

Yukarıda bahsedilen iklim senaryoları Şekil 2.3'te özetlenmektedir.



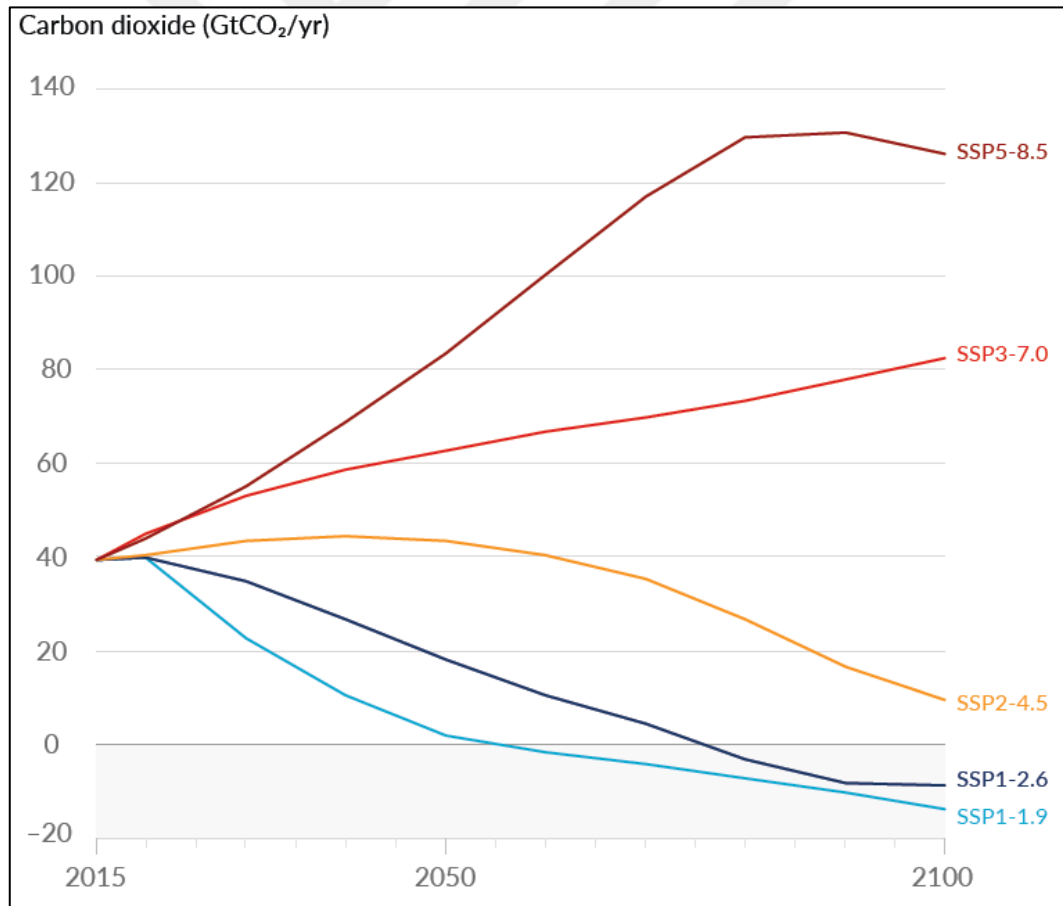
Şekil 2.3 Ortak sosyo-ekonomik rotalar [18]

IPCC 6. Değerlendirme Raporunda bahsedilen senaryolar ışığında önümüzdeki yıllarda olması beklenen sıcaklık artışları Tablo 2.1'de belirtilmektedir. Bu tabloda belirtilen sıcaklık artışları endüstriyel dönem öncesi olarak kabul edilen 1850-1900 yılları arasına kıyasla yer kabuğundaki sıcaklık artışını ifade etmektedir.

Tablo 2.1 Gelecek yıllar sıcaklık değerleri artışı

	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
Senaryo	En İyi Tahmin	Çok Muhtemel Aralık	En İyi Tahmin	Çok Muhtemel Aralık	En İyi Tahmin	Çok Muhtemel Aralık
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
SSP1-1.9	1,5	1,2-1,7	1,6	1,2-2,0	1,4	1,0-1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2-1,8	1,7	1,3-2,2	1,8	1,3-2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2-1,8	2,0	1,6-2,5	2,7	2,1-3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2-1,8	2,1	1,7-2,6	3,6	2,8-4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3-1,9	2,4	1,9-3,0	4,4	3,3-5,7

Buna ek olarak kümülatif CO₂ miktarında yaşanması beklenen değişim de beş farklı senaryo için Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Ortak sosyo-ekonomik rotalara göre kümülatif CO₂ değerleri

Gelişmiş ülkeler ve Türkiye'nin iklim krizi karşısında aldığı adaptasyon ve uyum politikaları değerlendirildiğinde mevcut durumda “SSP2-Yolun Ortası”

senaryosunun daha gerçekçi bir yol olduğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında 2050 iklim senaryolarının enerji modellemesinde kullanılması amacıyla SSP2-4.5 senaryosu seçilmiştir. Bu senaryoya göre 2050 yılında (2041-2060 yılları arasının ortalaması) yerküre yüzey sıcaklığının 1850-1900 yıllarına göre 2 °C sıcaklık artışı olacaktır. Buna ek olarak atmosferdeki ışınsal yükselmenin de endüstriyel dönem öncesi olarak kabul edilen 1750 yılına kıyasla 4.5 W/m² şeklinde olacağı öngörülmektedir.

2.3 Bina Enerji Modellemesi Senaryolarında Kullanılan İklim Verileri

Binalar dünyanın birincil enerjisinin üçte birinden fazlasını tüketir. Enerji tasarrufu ve verimlilik iyileştirmeleri yoluyla bina sektöründe enerji kullanımını ve sera gazı emisyonlarını azaltmak, küresel enerji ve çevre hedeflerine ulaşmak için önemli bir strateji oluşturur. Bina performans simülasyonu, enerji ve kamu hizmetleri maliyetlerinden tasarruf etmek için binaları tasarlamak, işletmek ve yenilemek için giderek daha fazla kullanılan bir araç haline gelmiştir [19].

Bina enerji performansının doğru bir şekilde tahmininin yapılabilmesi; kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu verileri gibi hava verilerine büyük ölçüde bağlıdır. Hava koşulları yıldan yıla önemli ölçüde değişebildiğinden, bir yıl boyunca uzun vadeli ortalama hava koşullarını iyi bir şekilde temsil edebilen özelleştirilmiş bir hava veri seti türetme ihtiyacı vardır. Tipik meteorolojik yıl (TMY) gibi tipik hava yılı dosyaları, yıllık enerji tüketimlerini tahmin etmek için bina simülasyonunda yaygın olarak kullanılır [20].

EnergyPlus programı bazı şehirler için iklim verilerini sunmaktadır. Ancak program veri tabanında Türkiye için yer alan veriler yalnızca İstanbul, Ankara ve İzmir illerini kapsamaktadır [21]. Bu tez çalışmasında Adana şehri için de bina enerji modellemesi çalışması gerçekleştirileceği için tipik meteorolojik yıl verileri climate.onebuilding.org sitesinden alınmıştır [22].

SSP2-4.5 senaryosuna göre 2050 iklim senaryosunun enerji modellemesi çalışmasında kullanılması amacıyla farklı iklim verisi kaynakları taranmıştır. Bina enerji performans programlarında kullanılmak üzere farklı kaynaklardan gelecek iklim verilerinin üretilebildiği görülmüştür. Ancak bu kaynaklardan birçoğu ücretli

olmakla birlikte IPCC 6. Değerlendirme Raporu öncesinde yayınlanan raporlardaki senaryoları kullanmaktadır. Bazı gelecek iklim verileri sağlayıcıları Tablo 2.2’de özetlenmektedir.

Tablo 2.2 Gelecek iklim verileri sunan program örnekleri

Program Adı	Kullanılan IPCC Modelleri	Kullanım Koşulları
Meteonorm [23]	5. Değerlendirme Raporu, 2014	Ücretli
WeatherShift [24]	5. Değerlendirme Raporu, 2014	Ücretli
DesignBuilder Analytics [25]	4. Değerlendirme Raporu, 2007	Ücretli
CCWeatherGen [26]	3. Değerlendirme Raporu, 2001	Ücretsiz
Future Weather Generator [27]	6. Değerlendirme Raporu, 2021	Ücretsiz

Tablo 2.2’de görülebileceği üzere gelecek iklim verisi sağlayıcılarının çoğunun 6. Değerlendirme Raporu senaryolarını içermemesi ve ücretli olması sebebiyle literatür taraması yapılarak başka çalışmalar aranmıştır. Bu kapsamda Rodrigues ve arkadaşlarının 2023 yılında bina enerji performansı araştırmalarında kullanılmak üzere açık kaynaklı ve ücretsiz erişilebilen “Future Weather Generator” programı incelenmiştir [27].

Dinamik bina enerji simülasyonlarını desteklemek üzere tasarlanmış olan program EnergyPlus programı ile entegre çalışabilmektedir. IPCC 6. Değerlendirme Raporunda belirtilen senaryoları içeren iklim verileri üretebilen program diğer benzer programlara göre çok daha fazla değişken bulundurmaktadır. Buna ek olarak mekânsal çözünürlük diğer programlara kıyasla daha fazladır (~80 km). Daha ince bir grid çözünürlüğü ile çalışarak verileri mekânsal olarak küçültmek için bilineer interpolasyon yöntemi kullanır. Tüm bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında “Future Weather Generator” programı EC-Earth3 çalışma grubunun dahil olduğu gelecek iklim verileri kullanılmıştır [28]. Program ara yüzü Şekil 2.5’te paylaşılmaktadır.

Climate Change

Future Weather Generator

CMIP6 models (aprox. number of grid points):

☐ BCC-CSM2-MR (51k)	☐ CanESM5 (8k)	☐ CanESM5.1 (8k)
☐ CanESM5-CanOE (8k)	☐ CAS-ESM2.0 (33k)	☐ CMCC-ESM2 (55k)
☐ CNRM-CM6.1-HR (259k)	☐ CNRM-ESM2.1 (33k)	☒ EC-Earth3 (131k)
☐ EC-Earth3-Veg (131k)	☐ FGOALS-g3 (14k)	☐ GISS-E2.1-G (13k)
☐ GISS-E2.1-H (13k)	☐ GISS-E2.2-G (13k)	☐ IPSL-CM6A-LR (21k)
☐ MIROC-ES2H (33k)	☐ MIROC-ES2L (8k)	☐ MIROC6 (33k)
☐ MRI-ESM2.0 (51k)	☐ UKESM1.0-LL (28k)	All

Generate an ensemble: **Grid:**

Month transition smoothness: (0 to 336 hours per month) **Diffuse irradiation model:**

Computation: ☒ Run app in multi-thread **EPW:** ☒ Apply variable limits **Solar hour adjustment:**

UHI: ☐ Preprocess Urban density

File name:

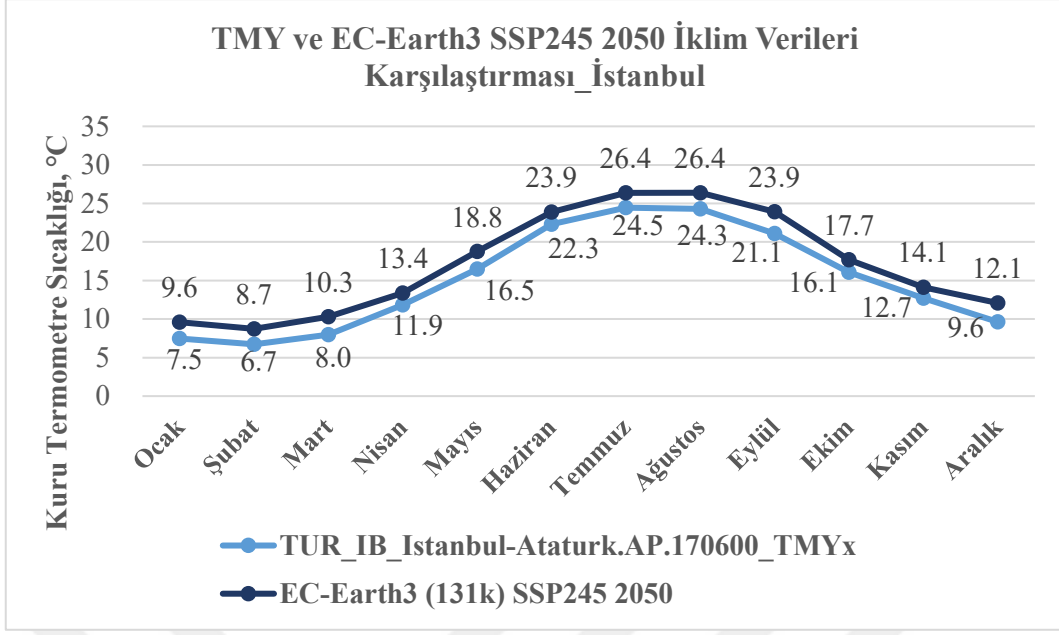
Folder:

between 1985 and 2014. The urban heat island effect is computed using world max and min air temperatures averages from 2004 to 2018.

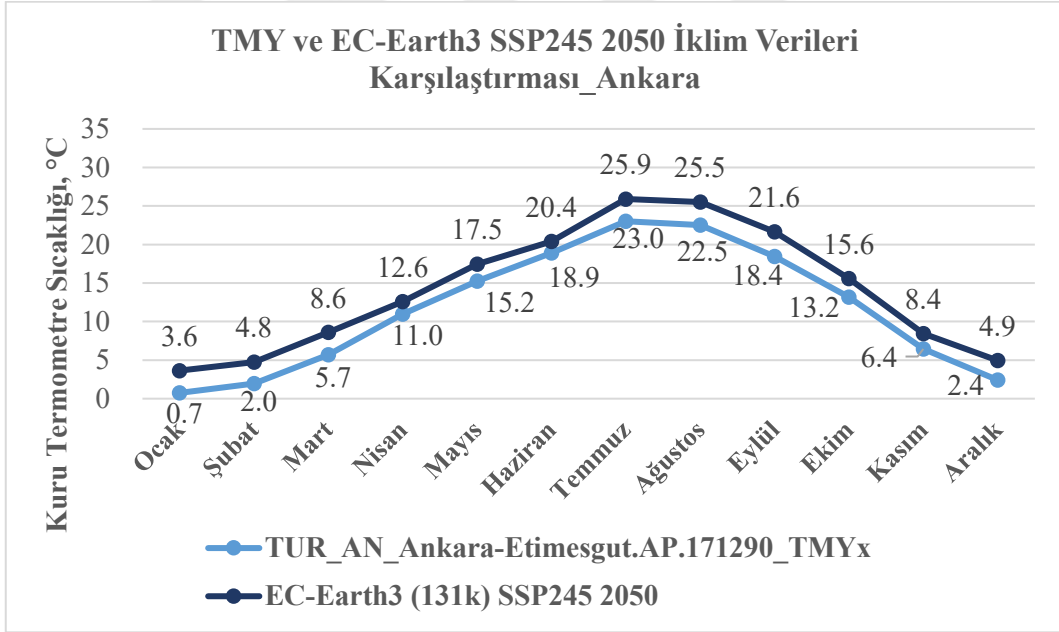
DISCLAIMER:
The software is provided "as is", without warranty of any kind, express or implied, including but not limited to the warranties of merchantability, fitness for a particular purpose and noninfringement. In no event shall the authors or copyright holders be liable for any claim, damages or other liability, whether in an action of contract, tort or otherwise, arising from, out of or in connection with the software or the use or other dealings in the software.

Şekil 2.5 Future weather generator programı arayüzü

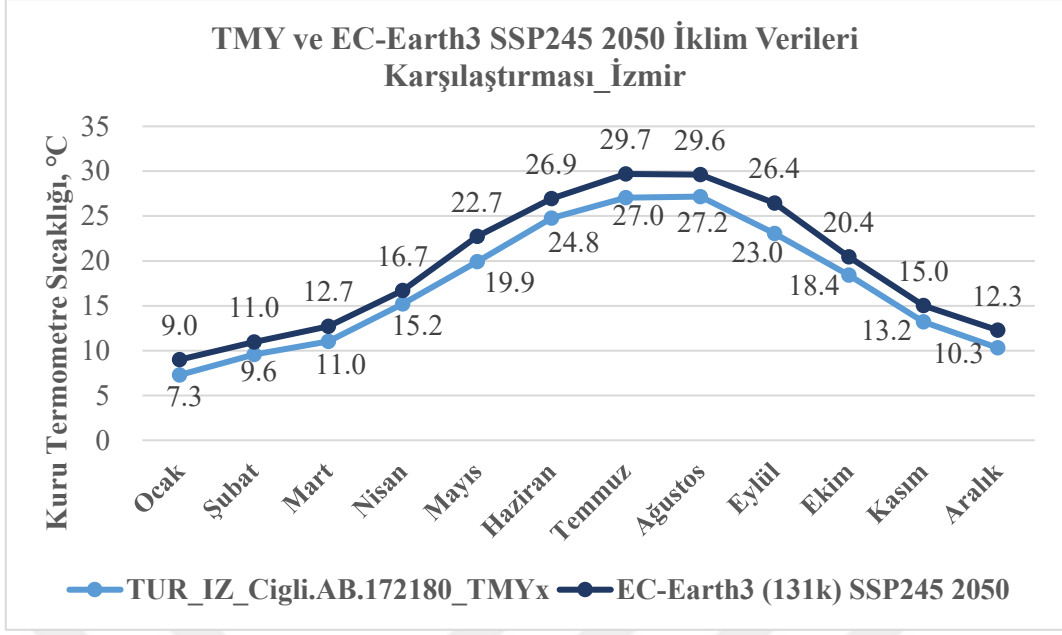
Bu tez çalışmasında yer alan Türkiye'deki dört şehir için SSP2-4.5 iklim senaryosuna göre 2050 iklim verileri yukarıda bahsedilen yöntem kullanılarak üretilmiştir. İstanbul, Ankara, İzmir ve Adana şehirleri için üretilen iklim verilerini ve geçmiş yılları yansıtan TMY iklim verileri karşılaştırmaları Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da özetlenmektedir.



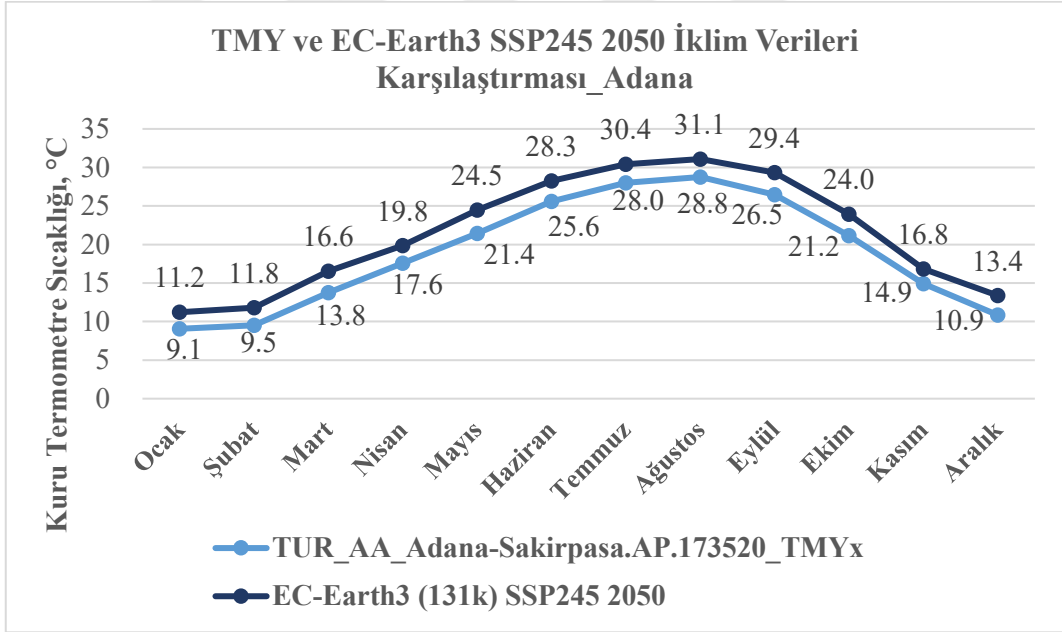
Şekil 2.6 Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, İstanbul



Şekil 2.7 Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, Ankara



Şekil 2.8 Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, İzmir



Şekil 2.9 Aylık ortalama dış hava sıcaklığı karşılaştırma grafiği, Adana

Bu senaryolar baz alındığında TMY iklim verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık değişimleri İstanbul’da 2.01 °C olurken Ankara ve Adana şehirlerinde 2.50 °C ve İzmir’de 2.13 °C şeklinde gerçekleşmiştir.

3

ÇOK KATLI BİR KONUT YAPISININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ SENARYOLARININ BELİRLENMESİ

3.1 Bina Özellikleri

Bu çalışmada ülkemizde sıklıkla gördüğümüz beş katlı tipik bir apartman binası tasarlanarak yapı fiziğinde alınabilecek enerji verimliliği önlemlerinin yıllık enerji tüketimine olan etkileri incelenmiştir.

Tablo 3.1 Binada yer alan daire bilgileri

Daire Adı	Alan	Tipi
	m ²	
GF_DU01	104.80	2+1
GF_DU02	105.81	2+1
GF_DU03	103.64	2+1
GF_DU04	100.67	2+1
F01_DU01	104.80	2+1
F01_DU02	105.81	2+1
F01_DU03	115.76	3+1
F01_DU04	100.67	2+1
F02_DU01	104.80	2+1
F02_DU02	105.81	2+1
F02_DU03	115.76	3+1
F02_DU04	100.67	2+1
F03_DU01	104.80	2+1
F03_DU02	105.81	2+1
F03_DU03	115.76	3+1
F03_DU04	100.67	2+1

Modeli oluşturulan bina 1 bodrum kat ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Her bir normal katta farklı cephelere bakan 4 adet daire bulunmaktadır. Daireler genel olarak 2+1 ve 3+1 şeklinde tasarlanmıştır. Binada yer alan daire alan bilgileri ve tipleri Tablo 3.1’de paylaşılmıştır.

Binada daireler dışında otopark, elektrik odası, merdiven, koridor ve asansör şaftı gibi mahaller de yer almaktadır. Bu mahaller Tablo 3.3’te gösterilmektedir.

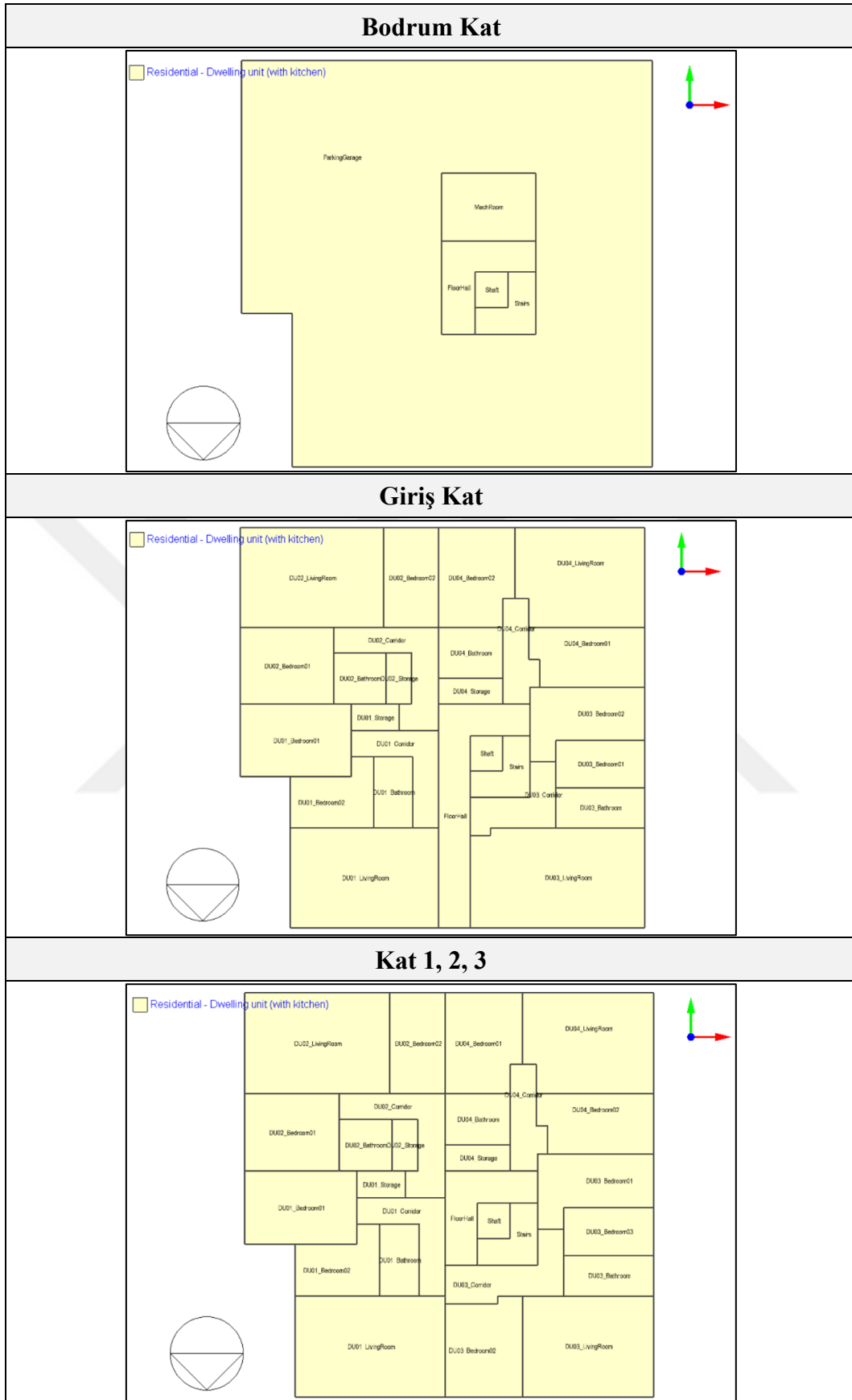
Tablo 3.2 Binada yer alan ortak alan bilgileri

Mahal Adı	Alan	Tipi
	m ²	
Elektrik Odası	18.01	Ortak Alan
Kat Koridoru	83.06	Ortak Alan
Merdiven	36.81	Ortak Alan
Otopark	408.85	Ortak Alan
Şaft (Asansör)	16.57	Ortak Alan

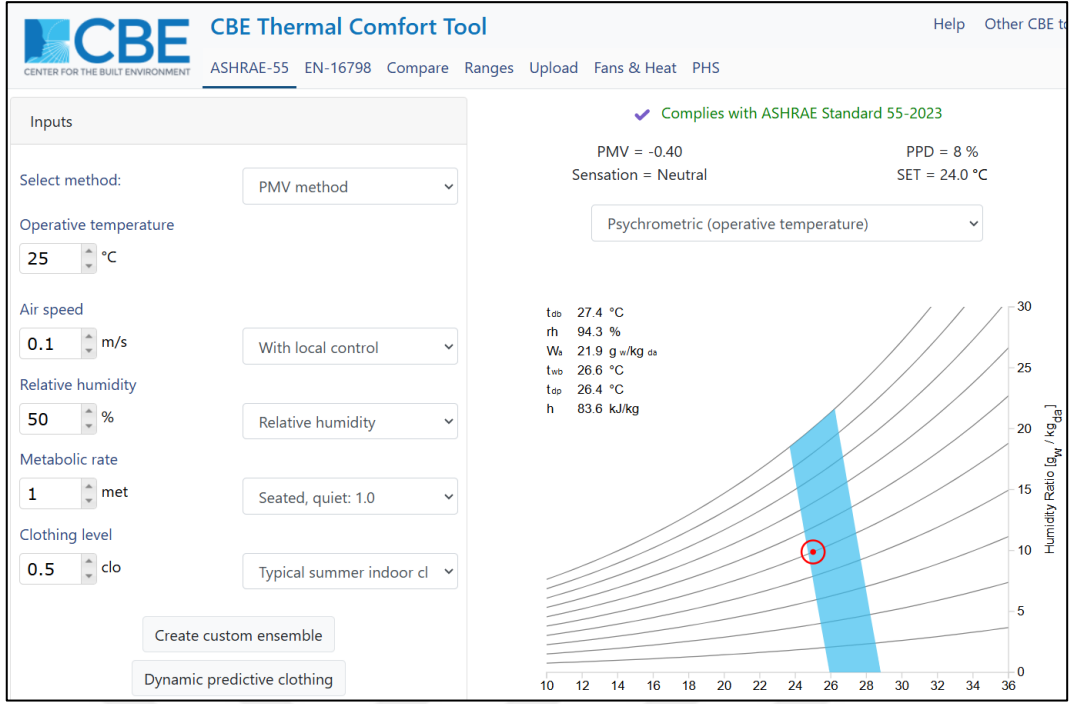
Tipik bina çalışması yapılması sebebiyle oluşturulan model için spesifik bir lokasyon belirlenmemiştir. Bu nedenle bina çevresinde gölgeleme etkisi yaratmayacak açık bir alan olduğu öngörülerek model içerisinde tekil bina çizimi yöntemi kullanılmıştır.

3.1.1 Kat Planları

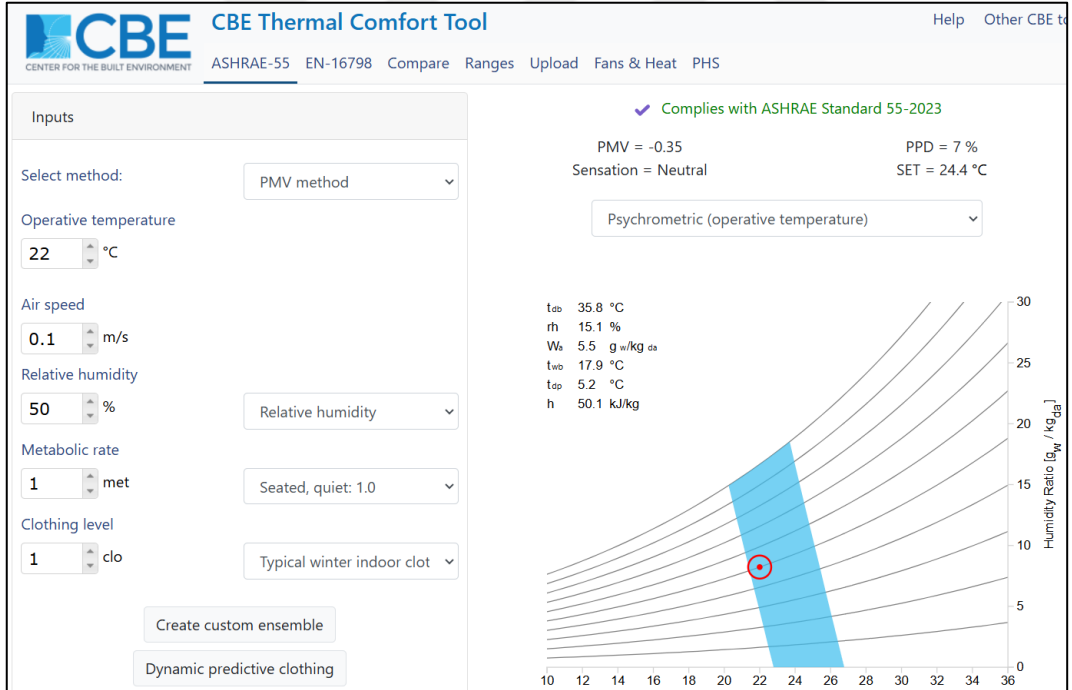
Bina katlarında yer alan mahaller ayrı ayrı modele eklenmiştir. Daire içlerindeki odalar birleştirilmeden çizilmiştir. Her bir katta dört adet daire bulunmaktadır. Bina kat planları Şekil 3.1’de paylaşılmıştır.



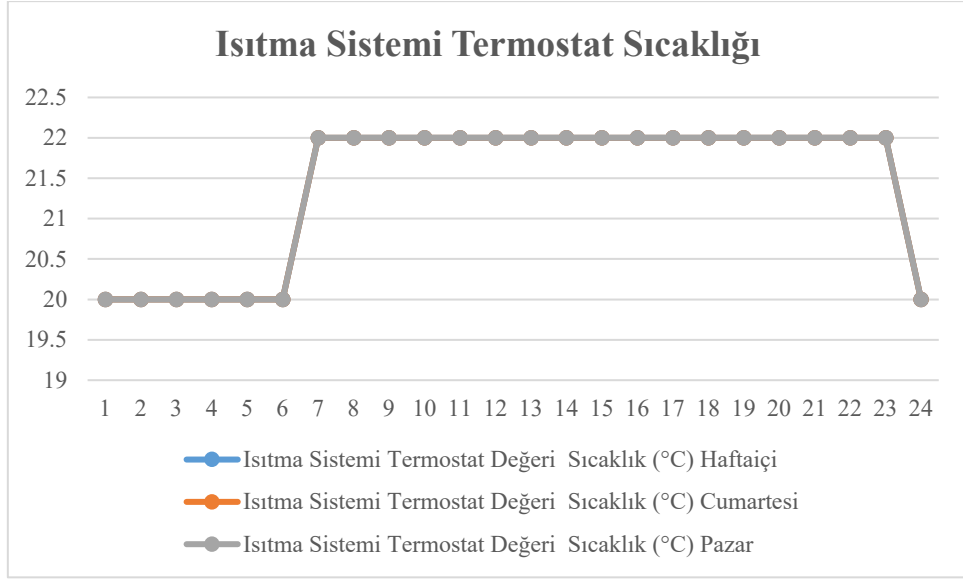
Şekil 3.1 DesignBuilder kat planları



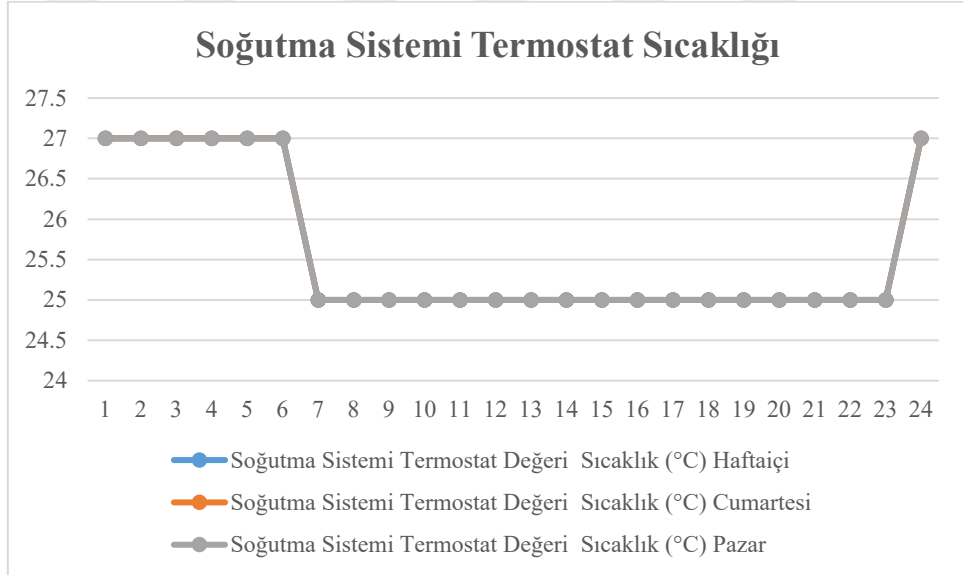
Şekil 3.3 Yaz tasarım sıcaklığı psikometrik diyagramı



Şekil 3.4 Kış tasarım sıcaklığı psikometrik diyagramı



Şekil 3.5 Isıtma sistemi termostat sıcaklığı



Şekil 3.6 Soğutma sistemi termostat sıcaklığı

3.1.4 Aydınlatma ve Priz Yükleri

Bina ortak alanları aydınlatma yoğunluk değerleri (W/m^2) ASHRAE 90.1-2022 standardı Tablo G3.7-1'e göre belirlenmiştir [32]. Hesaplamalarda hareket sensörü etkisi aydınlatma yoğunluk değerlerinde yapılan düzeltmelerle modele yansıtılmıştır.

Daire içi aydınlatma yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için farklı standartlar taranmıştır. LEED yeşil bina sertifikasyon sisteminde kullanılan çok katlı konut binaları enerji modellemesi rehberinde referans bina (Baseline) için 9.68 W/m^2 (0.9

W/ft²) değeri kullanılması önerilmektedir [33]. Ancak kullanılan operasyon saatleri göz önüne alındığında ortaya çıkan yıllık aydınlatma tüketim değeri ülkemizdeki tipik konut binalarında harcanan elektrik tüketim değerlerine göre beklenenden yüksek çıktığı için bu değerde revizyona gidilmiştir [34]. Sonuç olarak LEED Homes rehberinde yer alan aydınlatma başlığı altında iyileştirilmiş aydınlatma yoğunluk değeri olan 5.2 W/m² değeri kullanılmıştır [35].

Modelde farklı mahal tipleri için kullanılan aydınlatma yoğunluk değerleri ve sensörlerden kaynaklanan azaltım oranları Tablo 3.4'te paylaşılmaktadır.

Tablo 3.3 Aydınlatma yoğunluk değerleri

Mahal Tipi	Hareket Sensörü Düzeltmesi	Aydınlatma Yoğunluk Değeri
		W/m ²
Daire	-	5,2
Elektrik Odası	30%	11,305
Kat Koridoru	25%	4,035
Merdiven	75%	1,615
Otopark	30%	1,358

Tablo 3.4 Ekipman yükleri

Ekipman	Hitap Ettiği Alan	Enerji Tipi	Enerji Tüketimi	
			KWh/yıl	W/m ²
Buzdolabı	Mutfak	Elektrik	423	
Bulaşık Makinesi	Mutfak	Elektrik	164	
Çamaşır Makinesi	Banyo	Elektrik	57	
Kurutma Makinesi	Banyo	Elektrik	223	
Ocak	Mutfak	Elektrik	604	
Mutfak Egzoz Fanı	Mutfak	Elektrik	494	
Banyo Egzoz Fanı	Banyo	Elektrik	52	
Diğer Yükler	Daire İçi Alanlar	Elektrik		5,38
Diğer Yükler	Bina Sirkülasyon Alanı	Elektrik		2,15
Diğer Yükler	Bina Diğer Alanlar	Elektrik		5,38
Otopark Egzoz Fanı	Otopark	Elektrik	2.948	
Asansör	Bina Sirkülasyon Alanı	Elektrik	2.150	

Dış aydınlatma için toplam 140 Watt kapasitedeki armatür gücü enerji modellemesine girilmiştir.

Binada elektrik tüketimine yol açan priz yükleri için de çok katlı konut binaları enerji modellemesi rehberi kullanılmıştır [36]. Daire içlerinde kullanılan ekipmanlar, bina asansör yükü, egzoz fanları ve pişirme amaçlı ocak yükleri de modele eklenmiştir. Enerji modellemesinde kullanılan priz yüklerini Tablo 3.5’de gösterilmektedir.

3.1.5 Gün Işığından Yararlanma ve Gölgeleme

Daire içlerinde yer alan yatak odası ve salon mahalleri cephesinde açılabilir cam tasarımı yapılmıştır. Bu camlardan mahallere giren gün ışığının enerji tüketimine olan etkisi de modele eklenmiştir.

EN 17037 standardına göre referans düzlem 0,85 m olarak belirlenmiştir [37]. Binanın cephe kısmında kalan mahallerinde (salon-mutfak ve yatak odaları) gün ışığı sensörü konulmuştur. Hedeflenen minimum aydınlık seviyesi 300 lux olarak kabul edilmiştir.

Şekil 3.7 DesignBuilder programı günüışığı girdileri

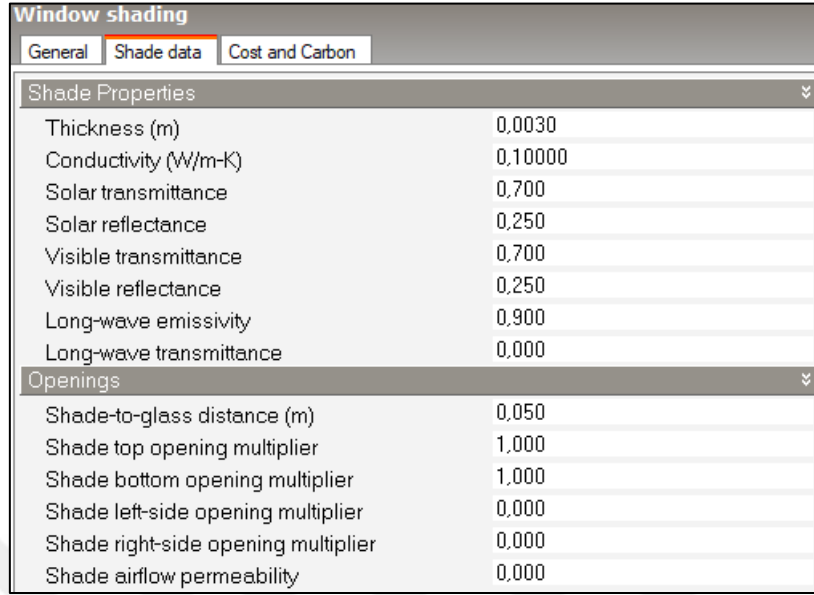
Gün ışığının mahal aydınlatması için yeterli olduğu durumlarda 3 adımlı bir kısma senaryosu oluşturularak enerji modeline eklenmiştir.

Daylighting	Field	Units	Ob1	Ob2	Ob3	Ob4	Ob5	Ob6
10001 DaylightingReferencePoint	Name		GF.DU02-BEDRO	GF.DU04-BEDRO	GF.DU04-LVINGR	GF.DU04-BEDRO	GF.DU03-BEDRO	GF.DU03-BEDRO
10001 DaylightingReferencePoint	Zone Name		GF.DU02-BEDRO	GF.DU04-BEDRO	GF.DU04-LVINGR	GF.DU04-BEDRO	GF.DU03-BEDRO	GF.DU03-BEDRO
10001 DaylightingReferencePoint	Daylighting Method		SpillFlux	SpillFlux	SpillFlux	SpillFlux	SpillFlux	SpillFlux
10001 DaylightingReferencePoint	Availability Schedule Name		On	On	On	On	On	On
10001 DaylightingReferencePoint	Lighting Control Type		Stepped	Stepped	Stepped	Stepped	Stepped	Stepped
10001 DaylightingReferencePoint	Minimum Input Power Fraction for Continuous or Contine							
10001 DaylightingReferencePoint	Minimum Light Output Fraction for Continuous or Contine							
10001 DaylightingReferencePoint	Number of Stepped Control Steps		3	3	3	3	3	3
10001 DaylightingReferencePoint	Probability Lighting will be Reset When Needed in Man		1	1	1	1	1	1
10001 DaylightingReferencePoint	Glare Calculation Daylighting Reference Point Name		GF.DU02-BEDRO	GF.DU04-BEDRO	GF.DU04-LVINGR	GF.DU04-BEDRO	GF.DU03-BEDRO	GF.DU03-BEDRO
10001 DaylightingReferencePoint	Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock	deg	0	0	0	0	0	0
10001 DaylightingReferencePoint	Maximum Allowable Discomfort Glare Index		22	22	22	22	22	22
10001 DaylightingReferencePoint	Daylighting Reference Point 1 Name		GF.DU02-BEDRO	GF.DU04-BEDRO	GF.DU04-LVINGR	GF.DU04-BEDRO	GF.DU03-BEDRO	GF.DU03-BEDRO
10001 DaylightingReferencePoint	Fraction of Zone Controlled by Reference Point 1		1	1	1	1	1	1
10001 DaylightingReferencePoint	Illuminance Setpoint at Reference Point 1	lux	300	300	300	300	300	300

Şekil 3.8 EnergyPlus programı günüışığı girdileri

Pencere alanı bulunan mahallerde (salon-mutfak ve yatak odaları) iç alanda bulunan perdeler ile gölgeleme etkisi de enerji modellemesine eklenmiştir. Gün ışığı

geçirgenliği açısından 0,7 değerini (VLT: 0.7) sağlayan geçirgen bir perde tanımlanmıştır.



Window shading	
General Shade data Cost and Carbon	
Shade Properties	
Thickness (m)	0,0030
Conductivity (W/m-K)	0,10000
Solar transmittance	0,700
Solar reflectance	0,250
Visible transmittance	0,700
Visible reflectance	0,250
Long-wave emissivity	0,900
Long-wave transmittance	0,000
Openings	
Shade-to-glass distance (m)	0,050
Shade top opening multiplier	1,000
Shade bottom opening multiplier	1,000
Shade left-side opening multiplier	0,000
Shade right-side opening multiplier	0,000
Shade airflow permeability	0,000

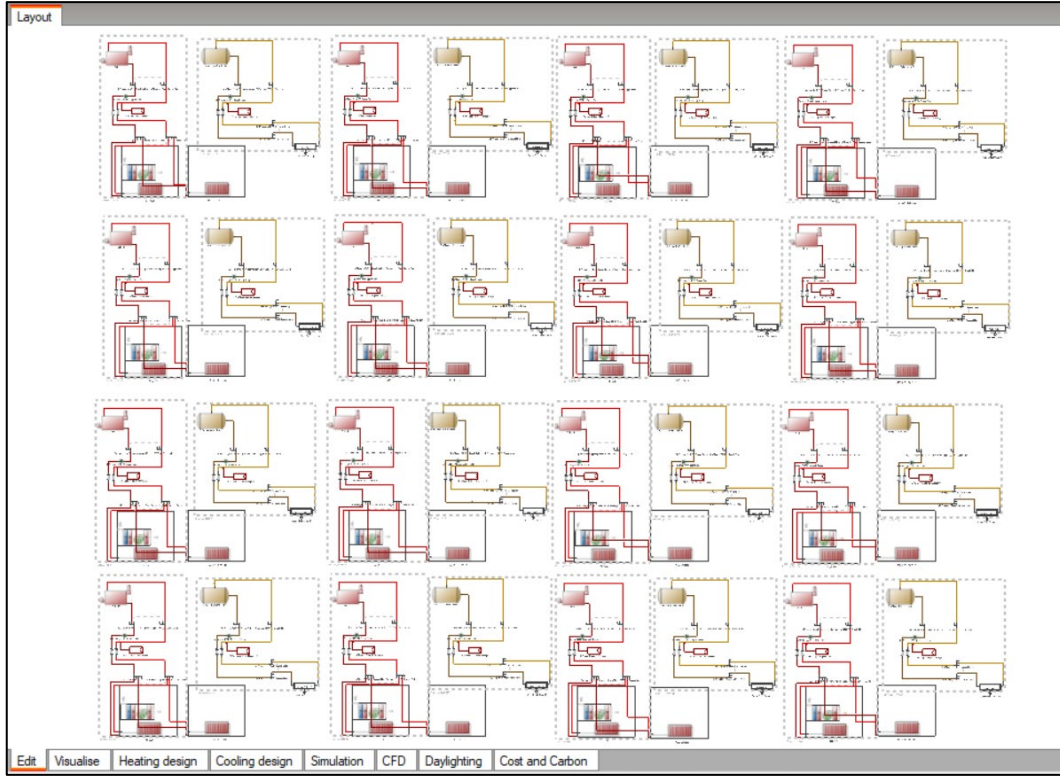
Şekil 3.9 DesignBuilder programı gölgeleme girdileri

3.1.6 Mekanik Sistemler

Her bir daire içerisinde ısıtma ve kullanım sıcak su ihtiyacının karşılanabilmesi için doğalgaz yakıtlı yoğuşmalı kazan (kombi) seçimi yapılmıştır. Yatak odaları ve salon mahallerinde radyatör yerleşimi, banyoda ise havlupan yerleşimi yapılmıştır. Kazan sistemi giriş-çıkış sıcaklıkları 60 °C-80 °C, kullanım sıcak su sistemi için 45 °C-50 °C olarak belirlenmiştir. Yoğuşmalı kazan verimliliği %96 olarak belirlenmiştir.

Daire içi soğutma ihtiyacının karşılanması amacıyla da her bir yatak odası ve salon mahaline multi split klima iç ünitesi yerleştirilmiştir. Multi split klima soğutma verimliliği 3.49 (EER: 3.49) olarak belirlenmiştir. İç ünite fanları talebe göre (on/off) çalışacak şekilde modellenmiştir.

Detaylı HVAC sistemi Design Builder programında Şekil 3.10'daki gibi oluşturulmuştur. Enerji modellemesi EnergyPlus programına aktarılarak gerekli revizyonların yapılması sonucu simüle edilmiştir.



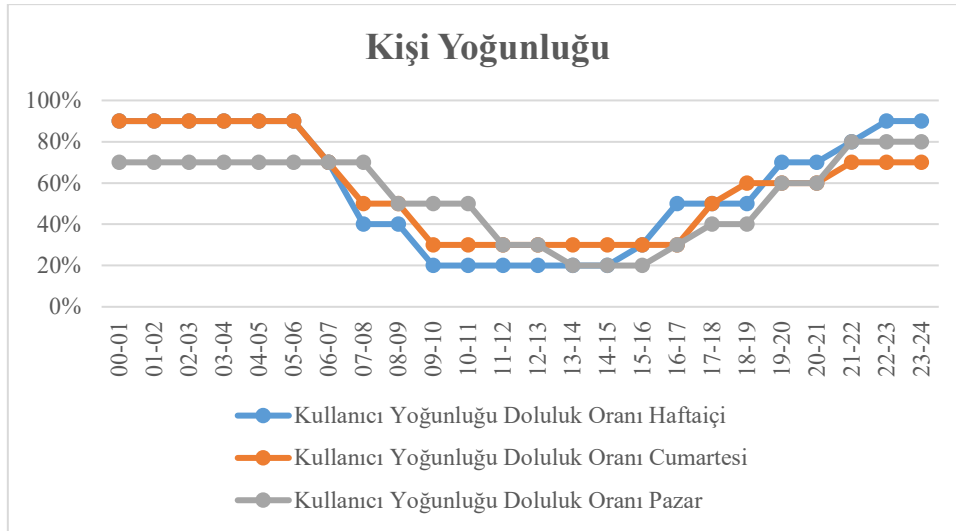
Şekil 3.10 DesignBuilder programı detaylı HVAC sistemi modellemesi

Daire içlerinde yer alan mutfak ve banyo egzoz fanları priz yükleri altında değerlendirilerek modele aktarılmıştır.

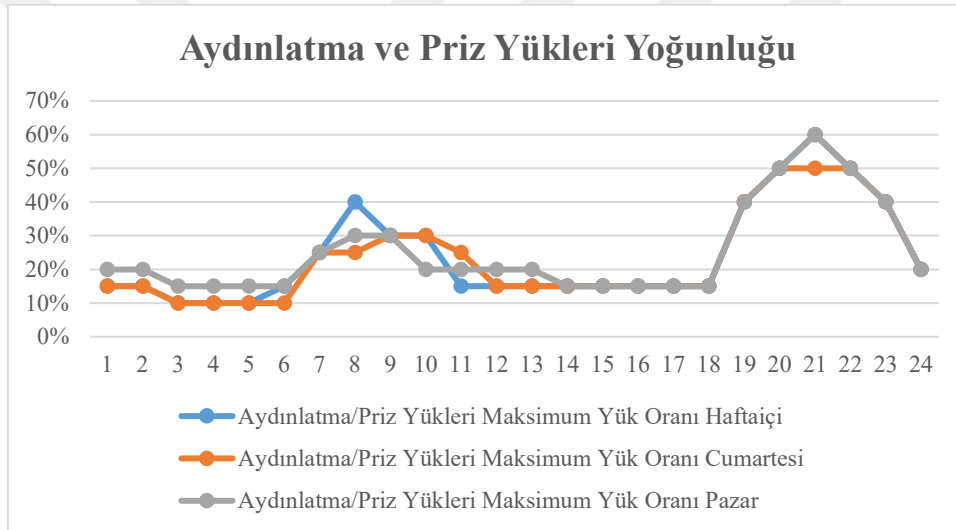
Ortak alanlarda ısıtma ve soğutma sistem tasarımı yapılmamıştır. Otopark egzoz fanları priz yükleri altında değerlendirilmiştir.

3.1.7 Operasyon Saatleri

Kişi yoğunluğu, aydınlatma ve priz yükleri için operasyon saatleri ASHRAE 90.1 User's Manual dokümanında ve çok katlı konut binaları enerji modellemesi rehberinde belirtilen tipik çalışma saatleri göz önüne alınarak belirlenmiştir [38]. Hafta içi ve hafta sonu için günlük saatlere göre belirlenen operasyon saatleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmektedir. HVAC sistemi operasyon saatleri her zaman açık olacak şekilde enerji modellemesine girilmiştir. Bu şekilde mahallerde talep olması durumunda ısıtma ve soğutma sistemi devreye girip çıkabilecektir. Daire içerisinde yer alan yemek faaliyetleri ocak kullanım saati günlük toplam 2 saat olarak belirlenmiştir. Ortak alanda yer alan asansör ve otopark egzoz fanları günlük toplam 2 saat çalışacak şekilde modellenmiştir. Dış aydınlatmada ise astronomik saat kullanılarak gün ışığına göre operasyon saati belirlenmiştir.



Şekil 3.11 Saatlik kişi yoğunluğu



Şekil 3.12 Saatlik aydınlatma ve priz yükleri yoğunluğu

3.2 Yapı Kabuğu Alternatifleri

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada bina yapı fiziği bileşenleri için ulusal ve uluslararası bina performans standartları incelenmiştir. Farklı iklim koşulları için standartlarda belirtilen ısı performans değerleri ayrı senaryolarda modele eklenmiştir.

3.2.1 Opak Alan Yapı Bileşenleri

Bina cephesinde yer alan opak yapı bileşenleri için ısı geçirgenlik katsayı değerleri TS 825 ve ASHRAE 90.1 standartlarında belirtilmektedir. Bu tez kapsamında Türkiye’de bulunan dört farklı il için yapı kabuğu performans değerleri belirlenerek

enerji modellemesi senaryolarına işlenmiştir. Dört farklı il için standartlarda belirtilen performans değerleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de gösterilmektedir.

Tablo 3.5 TS 825-2013 standardı bina kabuğu performans değerleri

TS 825-2013 Bina Kabuğu Performans Değerleri [39]			
İl	Yapı Kabuğu Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayıları		
	U_D	U_T	U_t
	W/m²K	W/m²K	W/m²K
İstanbul	0.57	0.38	0.57
Ankara	0.48	0.28	0.43
İzmir	0.66	0.43	0.66
Adana	0.66	0.43	0.66

Tablo 3.6 ASHRAE 90.1-2022 standardı bina kabuğu performans değerleri

ASHRAE 90.1-2022 Konut Bina Kabuğu Performans Değerleri				
İl	Yapı Kabuğu Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayıları			
	U_{AboveGradeWall}	U_{BelowGradeWall}	U_{Roof}	U_{Slab-on-Grade}
	W/m²K	W/m²K	W/m²K	W/m²K
İstanbul	U-0.365	C-6.473 (U~1.196)	U-0.220	F-0.935 (U~0.180)
Ankara	U-0.365	C-0.522 (U~0.385)	U-0.184	F-0.900 (U~0.173)
İzmir	U-0.365	C-6.473 (U~1.196)	U-0.220	F-0.935 (U~0.180)
Adana	U-0.365	C-6.473 (U~1.196)	U-0.220	F-1.264 (U~0.244)

3.2.2 Saydam Alan Yapı Bileşenleri

Saydam alanlar için TS 825 standardında ısııl geçirgenlik katsayısı 1.8 W/m²K şeklinde belirtilmiştir. Cephede yer alan saydam alan oranının %60’ı geçmesi durumunda ise ısııl geçirgenlik değerinin 1.5 W/m²K şeklinde revize edilmesi önerilmektedir. Ancak bu çalışmada cam/cephede oranı %60 değerini aşan bir senaryo olmadığı ve cam+çerçeve toplam ısııl geçirgenlik katsayısının (U-değerinin) 1.5 W/m²K olabilmesi için üçlü cam sistemi kurulumu olmasının tipik bir apartman binasında kullanılan pencere sistemini yansıtmayacağı düşünülerek bu öneri

dikkate alınmamıştır. ASHRAE 90.1 standardında tez kapsamında yer alan her bir iklim bölgesi için belirtilen pencere (cam+çerçeve) ısıl geçirgenlik değerleri 1.8 W/m²K değerinden fazla olduğu için bu çalışmada pencere ısıl geçirgenlik katsayısı bütün senaryolarda TS 825-2013 standardına göre belirlenmiştir.

Saydam alanlardaki güneş enerjisi geçirgenliği ve gün ışığı geçirgenliği değerlerinin belirlenmesi için Türkiye’de yaygın olarak bulunan solar low-E özellikli cam seçenekleri değerlendirilmiştir. Şekil 3.13’te yer alan beş farklı solar low-E cam performans değerleri bu çalışmada farklı senaryolar altında enerji modellemesine eklenmiştir [40].

6 mm Solar Low-E Cam (#2) +16 mm AB + 6 mm Renksiz Düzcam	Gün Işığı (EN 410)			Renk Sadakati	Güneş Enerji (EN 410)					Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U Value) W/m ² K (EN 673)	
	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	İçe Yansıtma %		Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Soğurma %	Solar Faktör (g değeri) %	Gölgeleme Katsayısı	Kuru Hava	Argon
Notral 70/40	69	11	12	94	37	29	34	40	0,46	1,4	1,1
Notral 70/37	69	13	13	93	34	36	31	37	0,42	1,3	1,0
Notral 62/44	63	23	20	95	39	33	29	43	0,49	1,4	1,1
Notral 50/33	49	31	23	89	29	36	34	33	0,37	1,4	1,1
Notral 50/25	50	15	14	93	24	35	41	25	0,29	1,3	1,0

Şekil 3.13 Solar low-e cam seçenekleri

3.3 Çalışmada Yer Alan İklim Bölgeleri

Yapı fiziği için oluşturulan senaryoların sadece bir iklim bölgesine göre modellenmesinin enerji verimliliği önlemlerinin bina yıllık enerji tüketimine olan etkisinin yorumlanması açısından yetersiz kalacağı düşünülmüştür. Buna ek olarak gelecek yıllar için öngörülen iklim verilerinin farklı iklim bölgelerinde nasıl bir sonuç doğuracağını da bu çalışmada yansıtılması amaçlanmıştır.

Dolayısıyla Türkiye’deki üç farklı iklim bölgesi ve dört farklı şehir için bu çalışmada yer alan yapı fiziği enerji verimliliği önlemlerini içeren senaryoların modellenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu şehirler; İstanbul, Ankara, İzmir ve Adana olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.7 İklim bölgeleri

Şehirler	TS 825-2013	ASHRAE 90.1-2022	
	Derece Gün Bölgesi	Hava İzleme İstasyonu	ASHRAE İklim Bölgesi
İstanbul	2	170600	3A
Ankara	3	171290	4A
İzmir	1	172180	3A
Adana	1	173520	2A

Tablo 3.9’da da görülebileceği üzere TS 825 standardında İzmir ve Adana ili için belirtilen iklim bölgeleri aynı olsa da ASHRAE 90.1 standardındaki iklim bölgesi hesaplarına göre İzmir ve İstanbul illeri aynı iklim bölgelerindedir. ASHRAE iklim bölgeleri belirlenirken ASHRAE Meteo uygulamasındaki 2021 verileri kullanılmıştır [41].

2021 ASHRAE Handbook standardına göre İstanbul ili için HDD18.3 değeri 1716, CCD10.0 değeri ise 2474 olarak belirtilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan derece gün değerlerine göre İstanbul (Florya) ili için 2023 yılı HDD ($T \leq 15$ °C) verisi 1281, CDD ($T > 22$ °C) verisi ise 372 şeklindedir [42].

Ankara ili için HDD18.3 değeri 2679, CCD10.0 değeri ise 1826 olarak belirtilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan derece gün değerlerine göre Ankara ili için 2023 yılı HDD ($T \leq 15$ °C) verisi 2025, CDD ($T > 22$ °C) verisi ise 321 şeklindedir.

İzmir ili için HDD18.3 değeri 1481, CCD10.0 değeri ise 2901 olarak belirtilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan derece gün değerlerine göre İstanbul ili için 2023 yılı HDD ($T \leq 15$ °C) verisi 790, CDD ($T > 22$ °C) verisi ise 702 şeklindedir.

Adana ili için HDD18.3 değeri 884, CCD10.0 değeri ise 3713 olarak belirtilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan derece gün değerlerine göre Adana ili için 2023 yılı HDD ($T \leq 15$ °C) verisi 618, CDD ($T > 22$ °C) verisi ise 902 şeklindedir.

ASHRAE meteo tarafından yayınlanan iklim tasarım koşulları Ek A’da verilmiştir.

Isıtma ve soğutma derece günleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve ASHRAE tarafından dikkate alınan değerler Tablo 3.10’da özetlenmiştir.

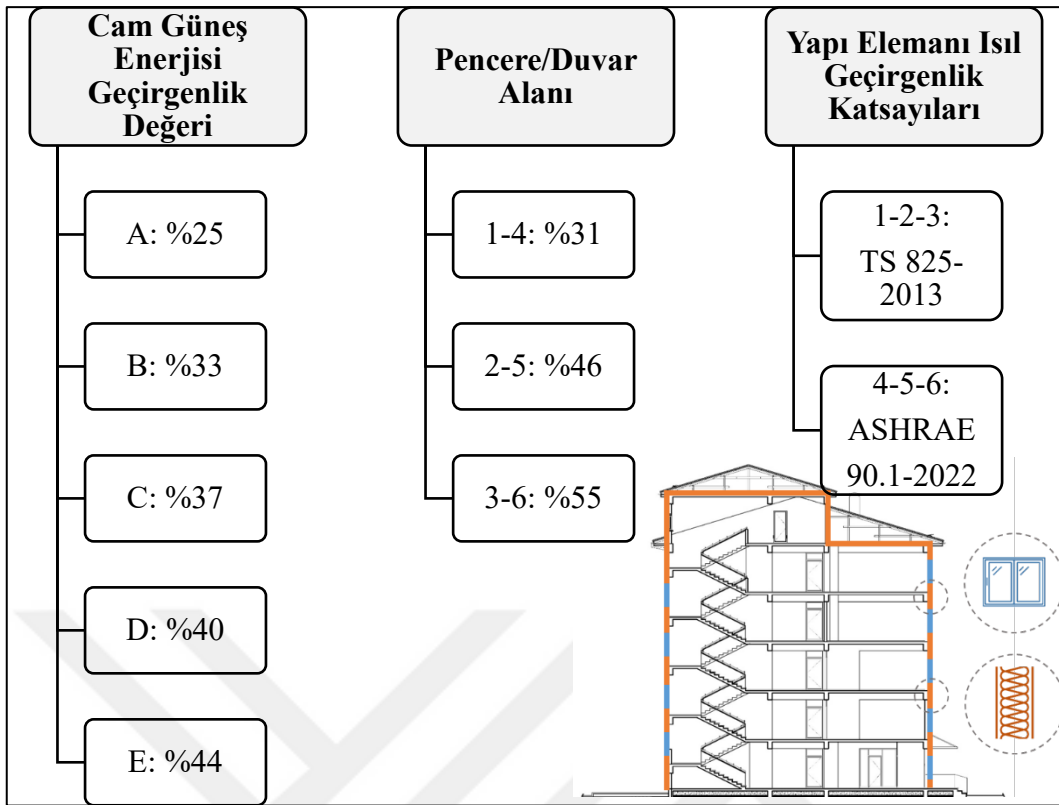
Tablo 3.8 Isıtma ve soğutma derece gün değerleri

Şehirler	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2023 Yılı)		ASHRAE Climatic Design Conditions 2021	
	HDD ($T \leq 15^{\circ}\text{C}$)	CDD ($T > 22^{\circ}\text{C}$)	HDD18.3	CDD10.0
Adana	618	902	884	3713
Ankara	2025	321	2679	1826
İstanbul	1281	372	1716	2474
İzmir	790	702	1481	2901

İklim bölgelerinin belirlenmesinde ASHRAE verileri CDD10.0 değerleri kullanılmaktadır. Ancak TS 825 standardı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen CDD ($T > 22^{\circ}\text{C}$) değerini baz almaktadır. Tablo 3.10’da görülebileceği üzere seçilen bölgeler arasında Ankara ili ısıtma ihtiyacının en fazla olduğu yer olurken Adana ili ise soğutma ihtiyacının en yüksek olduğu bölgedir.

3.4 Enerji Modellemesi Senaryoları

Bu tez çalışmasında yapı fiziki ile ilgili farklı enerji verimliliği önlemleri karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak geçmiş iklim verileri ve 2050 yılı iklim senaryosuna göre öngörülen iklim verileri de senaryolar dahilinde modellenmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye’de bulunan dört farklı bölge için senaryolar tekrarlanmıştır. Hazırlanan senaryolar Şekil 3.14 ve Tablo 3.11’de özetlenmektedir.

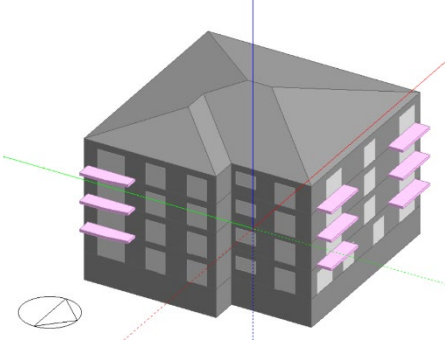
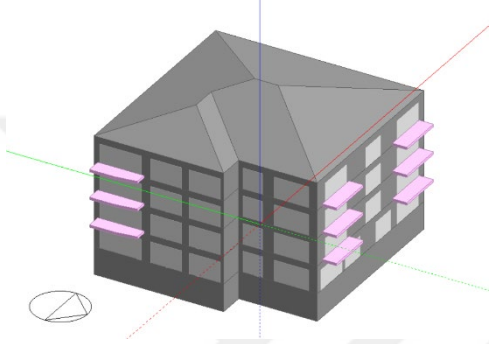
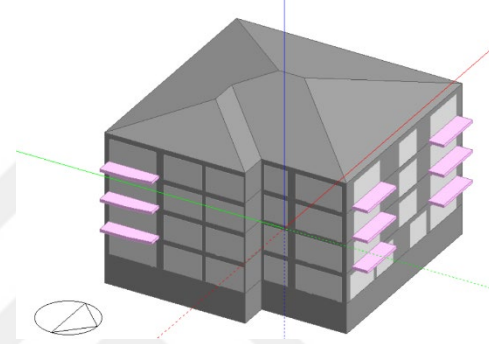
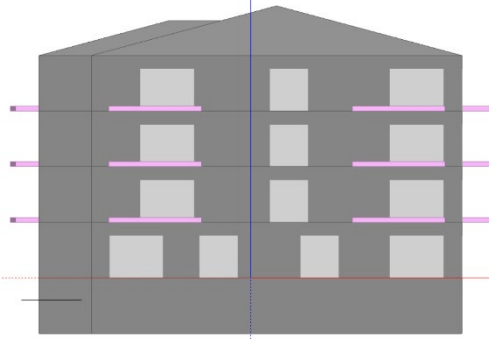
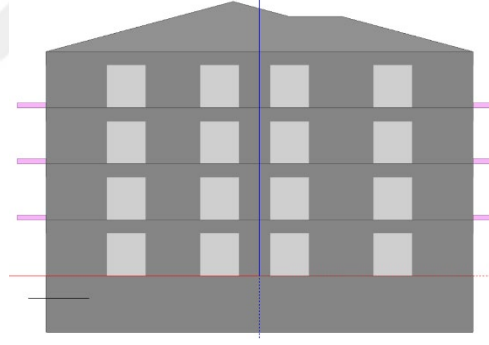
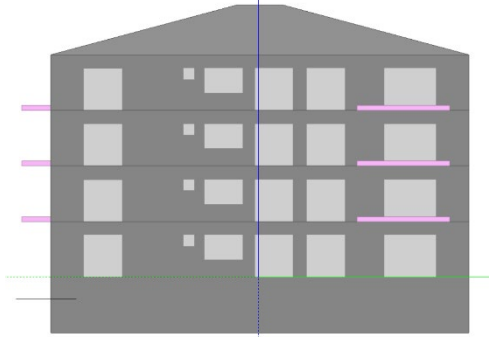
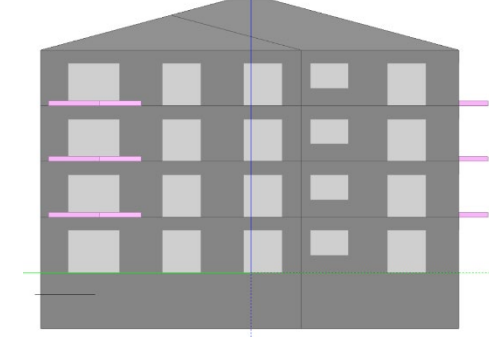


Şekil 3.14 Yapı fiziki pasif önlemleri

Tablo 3.9 Senaryolar

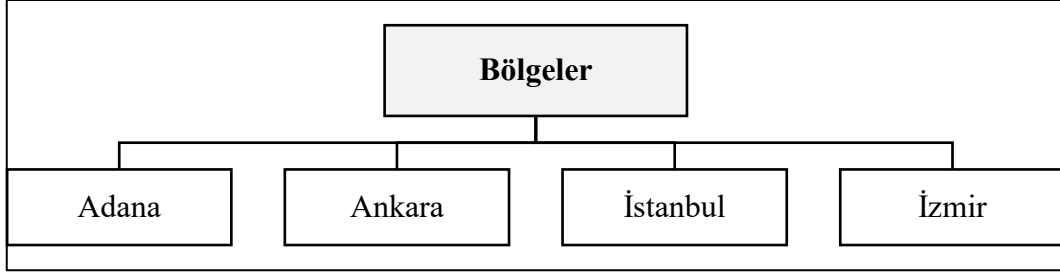
Senaryolar							
Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
		31%	46%	55%	31%	46%	55%
		TS 825-2013- Isıl Geçirgenlik Katsayıları			ASHRAE 90.1-2022- Isıl Geçirgenlik Katsayıları		
		1	2	3	4	5	6
g: %25	A	1A	2A	3A	4A	5A	6A
g: %33	B	1B	2B	3B	4B	5B	6B
g: %37	C	1C	2C	3C	4C	5C	6C
g: %40	D	1D	2D	3D	4D	5D	6D
g: %44	E	1E	2E	3E	4E	5E	6E

Şekil 3.14 ve Tablo 3.11’de yapı kabuğu için belirlenen farklı opsiyonları gösterilmektedir. Bina cephesinde yer alan pencere yerleşimleri ile ilgili senaryolar mevcut pencere alanları büyütülerek belirlenmiştir. Banyo ve tuvalet gibi mahal cepheleri dolu alan olarak modellenmiştir.

Saydamlık Oranı: %31	
	
Saydamlık Oranı: %46	Saydamlık Oranı: %55
	
Ön görünüm	Arka görünüm
	
Sağ yan görünümü	Sol yan görünümü
	

Şekil 3.15 Bina DesignBuilder cephe görünümleri

Yapı elemanı ısıl geçirgenlik katsayıları dört farklı bölge için standartlarda tanımlanan değerlere göre enerji modellemesine eklenmiştir. Pencere için (cam+çerçeve) Isıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) tüm senaryolarda 1.8 W/m²K olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.16 Modele dahil edilen şehirler

Enerji simülasyonlarında kullanılan iklim verileri bu tez çalışmasının yapı kabuğu enerji verimliliği önlemlerinin yanında diğer önemli parametresini oluşturmaktadır. Tablo 3.11’de bahsedilen farklı senaryolar TMY ve 2050 iklim verilerine göre enerji modellemesi programında simüle edilmiştir.



Şekil 3.17 Modelde kullanılan iklim verileri

Her bölge için 30 farklı yapı kabuğu enerji verimliliği önlemleri senaryosu geliştirilmiştir. Her senaryo TMY ve 2050 olmak üzere iki farklı iklim verisine göre modellenmiştir. Sonuç olarak dört farklı bölge için toplamda 240 adet enerji modellemesi simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

4

ENERJİ MODELLEMESİ ÇIKTILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

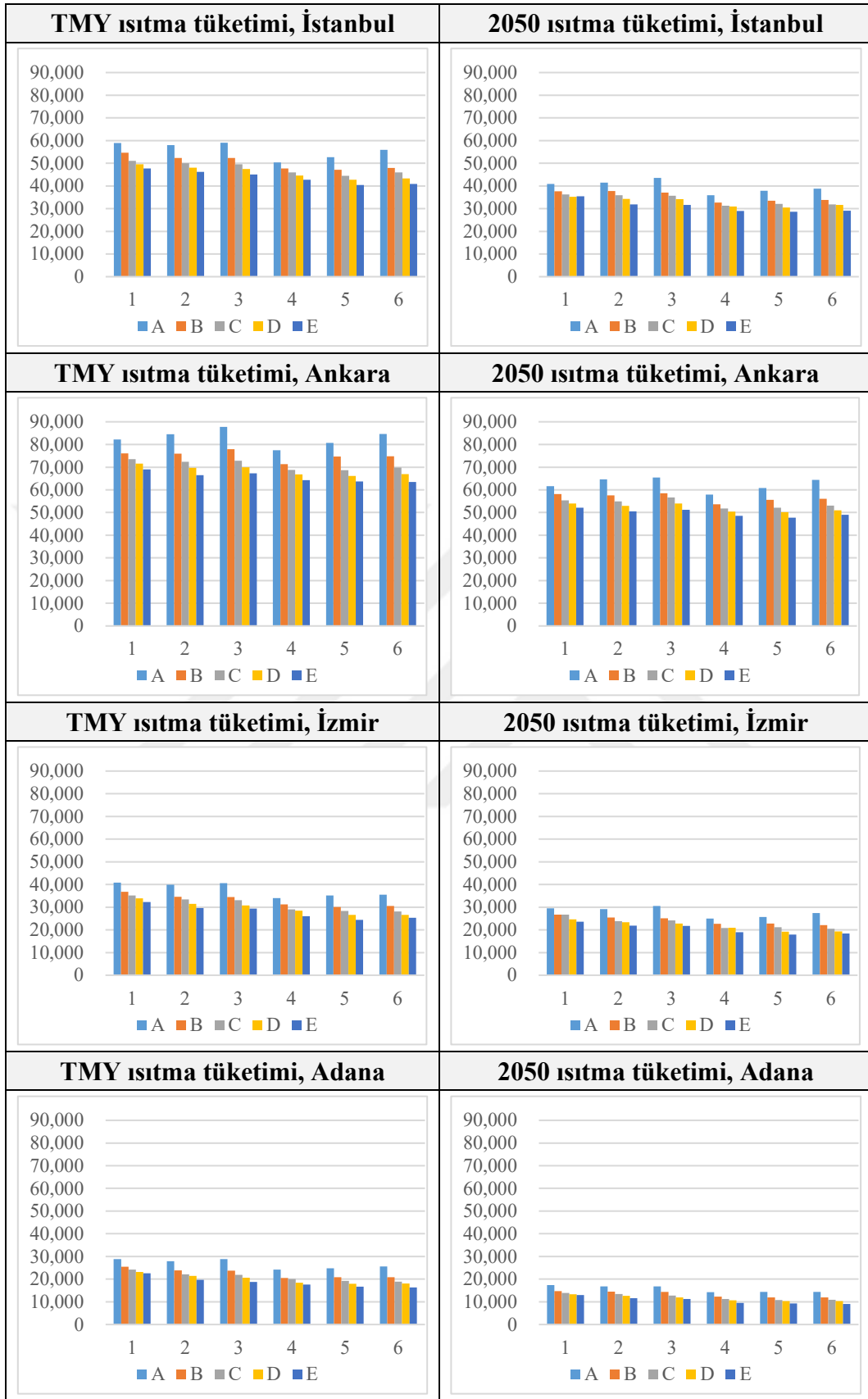
Yeni yapılan binalarda enerji modellemesi çalışmaları ile bina yıllık enerji tüketimlerinin öngörülmesi hedeflenmektedir. Özellikle yeşil bina sertifikasyon sistemlerinde kullanılan bu yöntem ile uluslararası bina enerji performans standartlarında belirtilen referans binaya göre tasarruf oranı karşılaştırması yapmak mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasında yapı kabuğunda uygulanabilecek pasif önlemlerin farklı iklim bölgeleri ve iklim verileri kullanılarak karşılaştırılması amacıyla çeşitli senaryolar geliştirilerek bina enerji modellemesi yöntemiyle tüketim analizleri yapılması hedeflenmiştir. Bina enerji tüketimine etki eden priz yükleri, aydınlatma, operasyon saatleri gibi aktif önlemler ise tüm senaryolarda sabit bırakılmıştır. Dolayısıyla yapı fiziğinde uygulanan pasif önlemlerin bina enerji tüketimine olan etkisinin diğer parametrelerden en az düzeyde etkilenecek şekilde tanımlanması sağlanmıştır.

Bu tez kapsamında hazırlanan modelin farklı senaryolar ile değerlendirilmesi sonucunda dört farklı şehir için toplam 240 adet farklı enerji simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonlar sonucunda ısıtma tüketimi, soğutma tüketimi, bina yıllık toplam enerji tüketimi ve karbon emisyon miktarları ile ilgili sonuçlar aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

4.1 Isıtma Tüketimi Karşılaştırması

Isıtma derece gün değerleri karşılaştırmasında da görüldüğü üzere tüm senaryolarda genel olarak Ankara ısıtma tüketimi sonuçları en yüksek olurken Adana ili simülasyonlarda ısıtma tüketimi en az çıkan şehir olmuştur. Yapı fiziği pasif önlemlerinin olduğu farklı senaryoların ısıtma tüketimine olan etkisi ve gelecek iklim verilerinin mevcut verilerle karşılaştırılması Şekil 4.1’te özetlenmiştir.

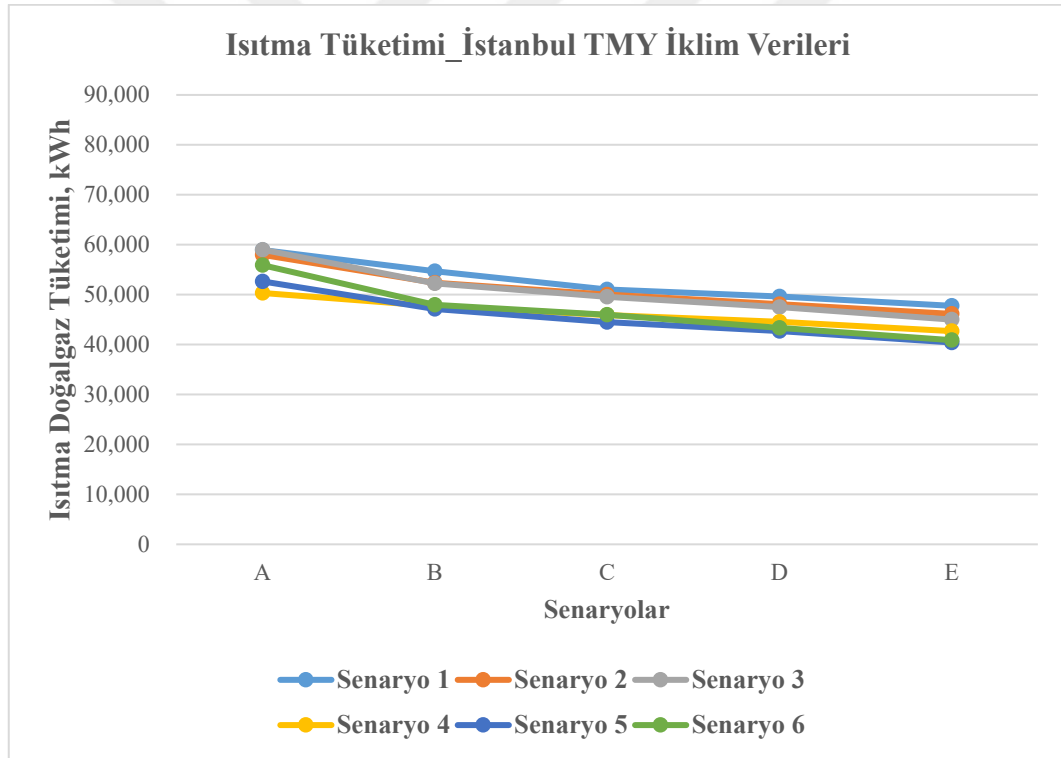


Şekil 4.1 Isıtma doğalgaz tüketimi karşılaştırması, kWh

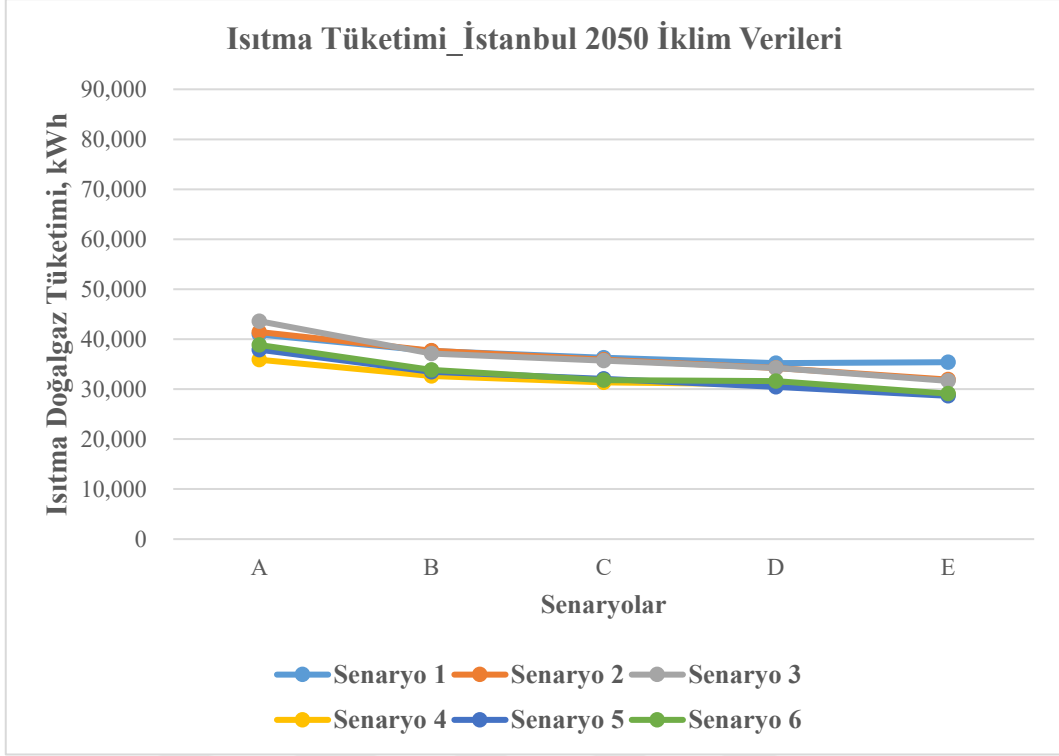
Her bir senaryo için enerji modellemesi çalışmaları sonucu ortaya çıkan tüketim değerleri Ek B’de paylaşılmaktadır.

4.1.1 İstanbul Isıtma Tüketimi Sonuçları

Gerçekleştirilen enerji simülasyonları sonucunda hem TMY verileri hem de 2050 iklim verilerine göre cam güneş enerjisi geçirgenlik oranı arttıkça ısıtma tüketimi azalmıştır. Cephe saydamlık oranındaki artış ise ısıtma tüketimini, camın güneş enerji geçirgenliğindeki artışın ısıtma tüketimi üzerindeki etkisine göre daha az etkilemiştir. Saydam alanın daha fazla olduğu senaryolarda, cam güneş enerjisi geçirgenliği arttıkça ısıtma tüketiminin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak bina kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik katsayılarındaki küçülme de ısıtma tüketiminde azalmaya yol açmıştır. Yalıtım kalınlıklarının artırılması sonucu ısıtma tüketiminde yaşanan düşüş oranı her senaryo için ortalama %10 civarındadır.



Şekil 4.2 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İstanbul



Şekil 4.3 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İstanbul

2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlar sonucunda yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri etkilerinin TMY iklim verileri ile yapılan modellerle benzer trendde olduğu görülmüştür. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %29 daha az ısıtma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Dolayısıyla iklim değişikliği öngörülerinin gerçekleşmesi durumunda İstanbul ilinde bulunan bir apartman binası için önümüzdeki yıllarda ısıtma tüketiminin ciddi bir oranda azalacağı yapılan simülasyonlar sonucunda görülmektedir.

4.1.2 Ankara Isıtma Tüketimi Sonuçları

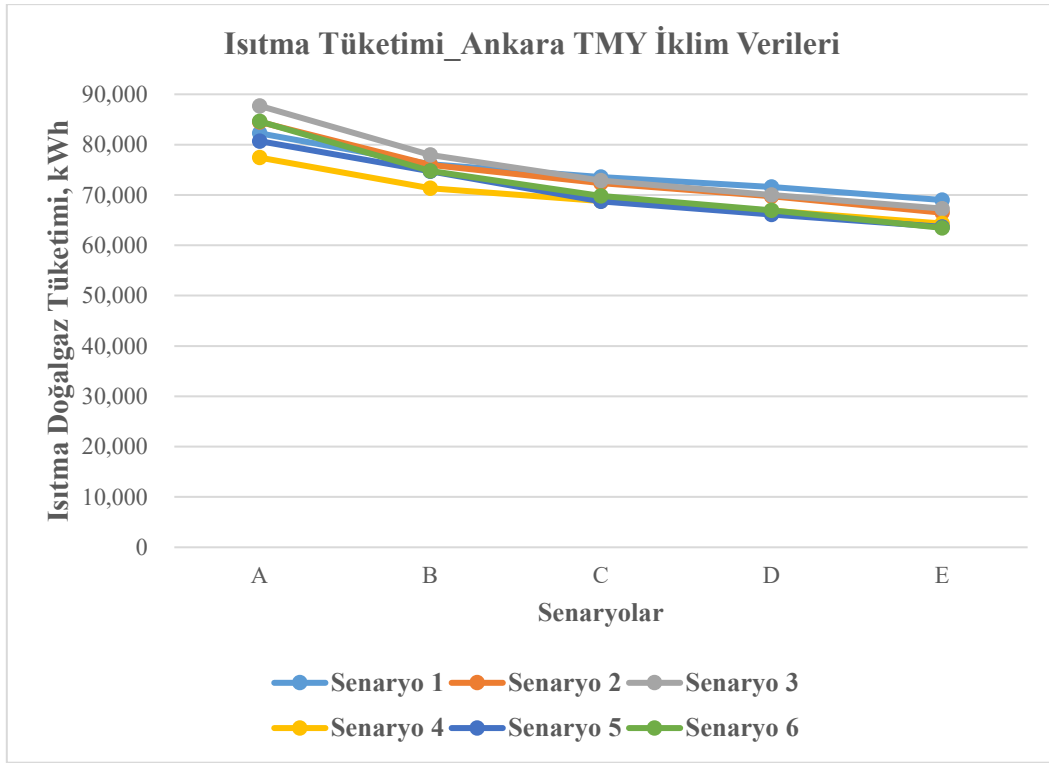
Bu tez kapsamında incelenen dört farklı il arasında ısıtma derece gün değerlerinin en fazla olduğu bölge Ankara ilidir. Dolayısıyla ısıtma tüketimi Ankara ili için yapılan simülasyonlarda diğer bölgelere göre en yüksek tüketimin çıktığı senaryolardır.

İstanbul ili için yapılan enerji modellemesi çalışmalarında da olduğu gibi cam güneş enerjisi geçirgenlik değerindeki artış ısıtma tüketiminin azalmasına yol açmıştır. Isıtma tüketimindeki oransal azalış miktarı TMY ve 2050 iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda benzer orandadır. Isıtma tüketimindeki azalış miktarı cephe saydam alan oranının en fazla olduğu ve ASHRAE 90.1 standardında

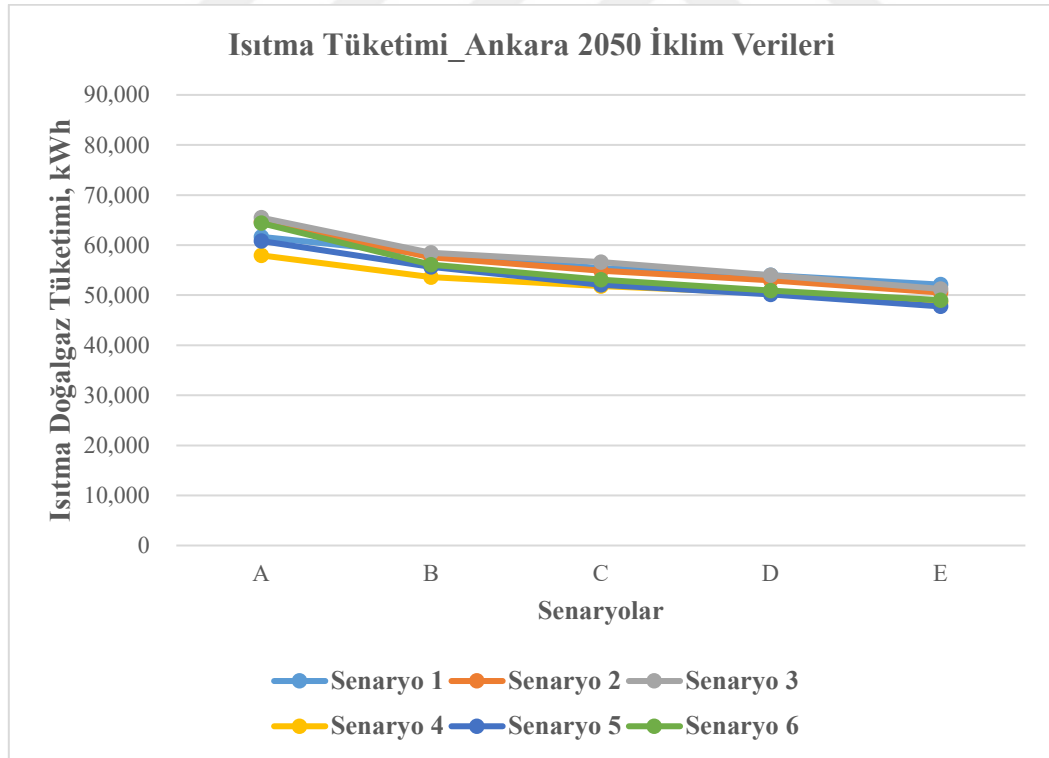
belirtilen ısıl geçirgenlik katsayılarının kullanıldığı senaryo 6'da en yüksek seviyesine ulaşmıştır. SHGC değerinin %25 olduğu 6A senaryosu ile SHGC değerinin %44 olduğu 6E senaryosu arasındaki ısıtma tüketimi farkı TMY iklim verilerine göre %25 olurken 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonda yaklaşık %24 şeklinde gerçekleşmiştir.

Pencere/duvar oranındaki artış ise ısıtma tüketimini cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri değişimine göre oransal olarak çok daha az etkilemiştir. Ancak diğer iller için yapılan simülasyonlardan farklı olarak, cephe saydam alanındaki artış ısıtma tüketiminde de artışa neden olmuştur. Bu artış TMY iklim verileri ve TS 825 U-değerleri kullanılan 1A ve 3A senaryoları arasında yaklaşık %7 şeklinde olurken ASHRAE 90.1 U-değerleri kullanılan 4A ve 6A senaryoları arasında %9'u geçmektedir. Aynı senaryolar için 2050 iklim verilerinin kullanıldığı simülasyon sonuçlarında ise ısıtma tüketimindeki artış oranı sırasıyla %6 ve %11 şeklinde olmuştur. Ancak cam güneş enerjisi geçirgenlik değerindeki artışın, cephe saydam alanı artışı sonucu ortaya çıkan ısıtma talebini düşürdüğü görülmüştür. Cephede yer alan cam oranındaki artış mahale iletilen güneş enerjisini artırsa da pencere ısıl geçirgenlik katsayısının (U-değeri) opak alanlara göre çok daha yüksek olması nedeniyle SHGC: %25 olan senaryolarda belirgin bir ısıtma tüketim artışı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla ısıtma talebinin yüksek olduğu bölgelerde cam ısıl geçirgenlik değerinde (U-değeri) azaltım ve SHGC değerinde artış yapılmasının ısıtma tüketiminin dengelenmesi açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Bina kabuğunda yer alan opak alanların toplam ısı geçirme katsayısının küçülmesi ısıtma tüketiminin azalmasına yol açmıştır. TMY iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda ısıl geçirgenlik katsayılarındaki değişim nedeniyle ısıtma tüketiminde azalma oranı %4.9 olurken 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda bu oran %5,4 şeklinde hesaplanmıştır. Opak alan ısıl geçirgenlik katsayılarında yapılan iyileştirme sonucu ortaya çıkan ısıtma tüketimi azalış oranı İstanbul ili sonuçları ile karşılaştırıldığında düşük kalmaktadır. Bunun en önemli sebebi TS 825 standardında Ankara ili için belirtilen ısıl geçirgenlik katsayı değerlerinin ASHRAE 90.1 standardında belirtilen değerlere daha yakın bir seviyede olmasıdır.



Şekil 4.4 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Ankara



Şekil 4.5 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Ankara

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam ısıtma tüketimine bakıldığında Ankara ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %49 (TMY'ye göre) ve %59 (2050'ye göre) oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Oransal olarak bakıldığında iklim krizi sonucu ortaya çıkacak yeni hava koşullarının, ısıtma tüketimi özelinde bu çalışmada incelenen diğer şehirlere kıyasla İstanbul ilini daha fazla etkileyeceği görülmektedir.

2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlar sonucunda yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri etkilerinin TMY iklim verileri ile yapılan modellerle benzer trendde olduğu görülmüştür. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %24 daha az ısıtma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla iklim değişikliğinin ısıtma tüketiminin yoğun olduğu bölgelerde de azaltıma neden olacağı sonucuna varılmıştır.

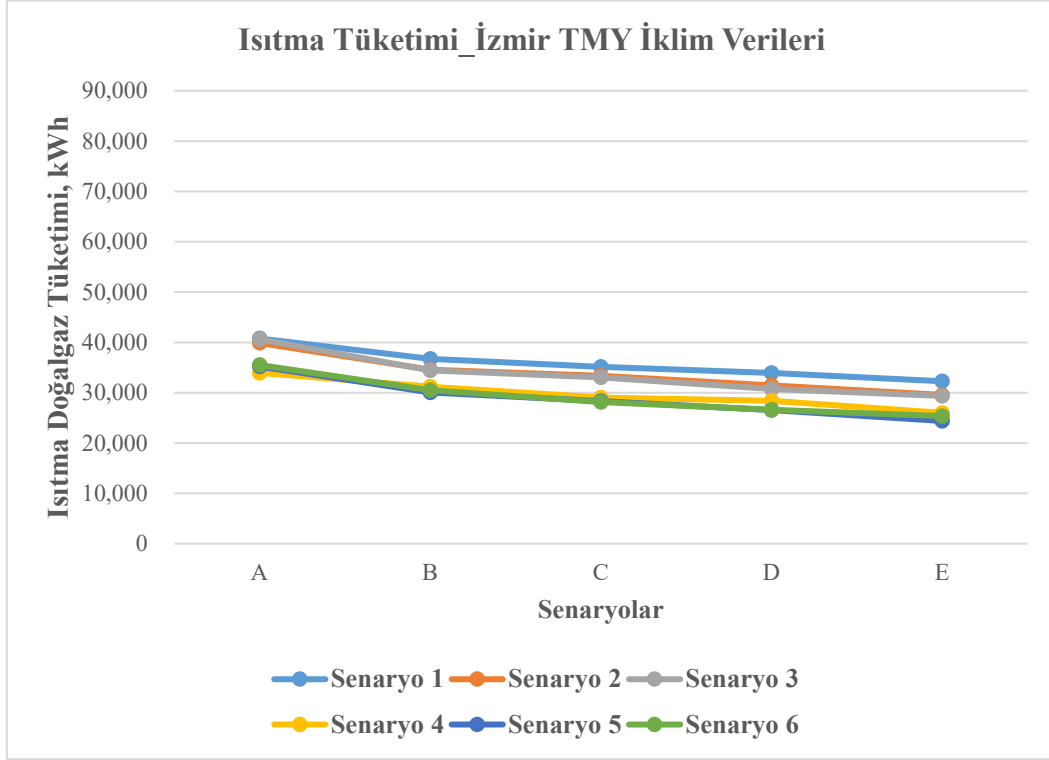
4.1.3 İzmir Isıtma Tüketimi Sonuçları

Cam güneş enerjisi geçirgenlik oranındaki artış İzmir ili için yapılan enerji modellemelerinde de ısıtma tüketiminde azalışa neden olmuştur. Ancak ısıtma tüketimindeki azalış oranı İstanbul ili için yapılan enerji modellemesi sonucu ortaya çıkan azalış oranından bir miktar daha fazladır. Örneğin cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %25 olduğu 3A senaryosu ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %44 olduğu 3E senaryoları TMY iklim verilerine göre değerlendirildiğinde, İstanbul için ısıtma tüketiminde azalış oranı %23,7 olurken İzmir için bu oran %27,7 şeklinde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla İzmir ili yıllık güneş enerjisinden faydalanma süresinin İstanbul ilinden fazla olmasının oransal olarak böyle bir farka yol açtığı görülmektedir. Oransal değişimlerdeki trend 2050 iklim verileri ile yapılan modellerde de görülmektedir.

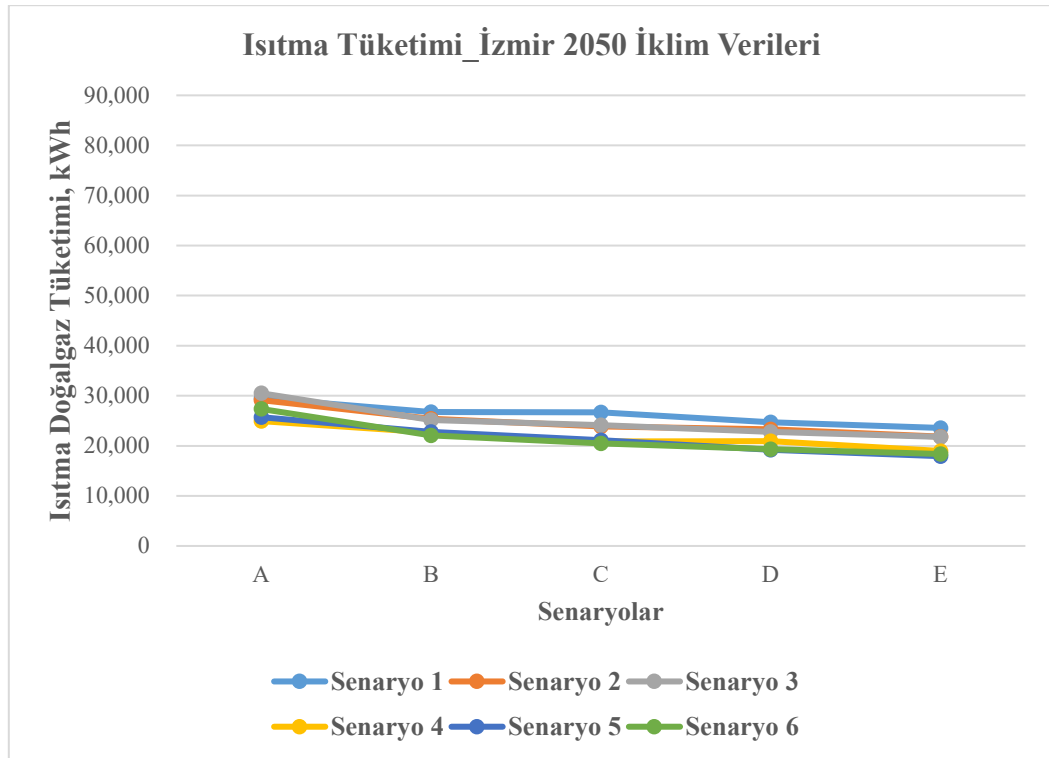
Cephe saydam alanındaki artış ise ısıtma tüketimini, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri değişimine göre oransal olarak çok daha az etkilemiştir. Pencere alanının fazla olduğu senaryolarda cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri artışı sonucu ısıtma tüketimindeki azalma oranının da arttığı görülmüştür.

Bina kabuğunda yer alan opak alanların toplam ısı geçirme katsayısının küçülmesi ısıtma tüketiminde azalmaya yol açmıştır. Yalıtım kalınlıklarının artırılması sonucu ısıtma tüketiminde yaşanan düşüş oranı TMY ve 2050 iklim verilerinin kullanıldığı

her senaryo seti için ortalama %15 şeklindedir. Bu oran İstanbul ili için yapılan simülasyonlarda yaklaşık %10 seviyesinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.6 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İzmir



Şekil 4.7 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, İzmir

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam ısıtma tüketimine bakıldığında İzmir ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %35 (TMY'ye göre) ve %32 (2050'ye göre) oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki il için MGM tarafından belirtilen ısıtma derece gün değerlerinin bu tüketim farkında etkili olduğu değerlendirilmektedir.

2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlar sonucunda yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri etkilerinin TMY iklim verileri ile yapılan modellerle benzer trendde olduğu görülmüştür. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %27 daha az ısıtma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

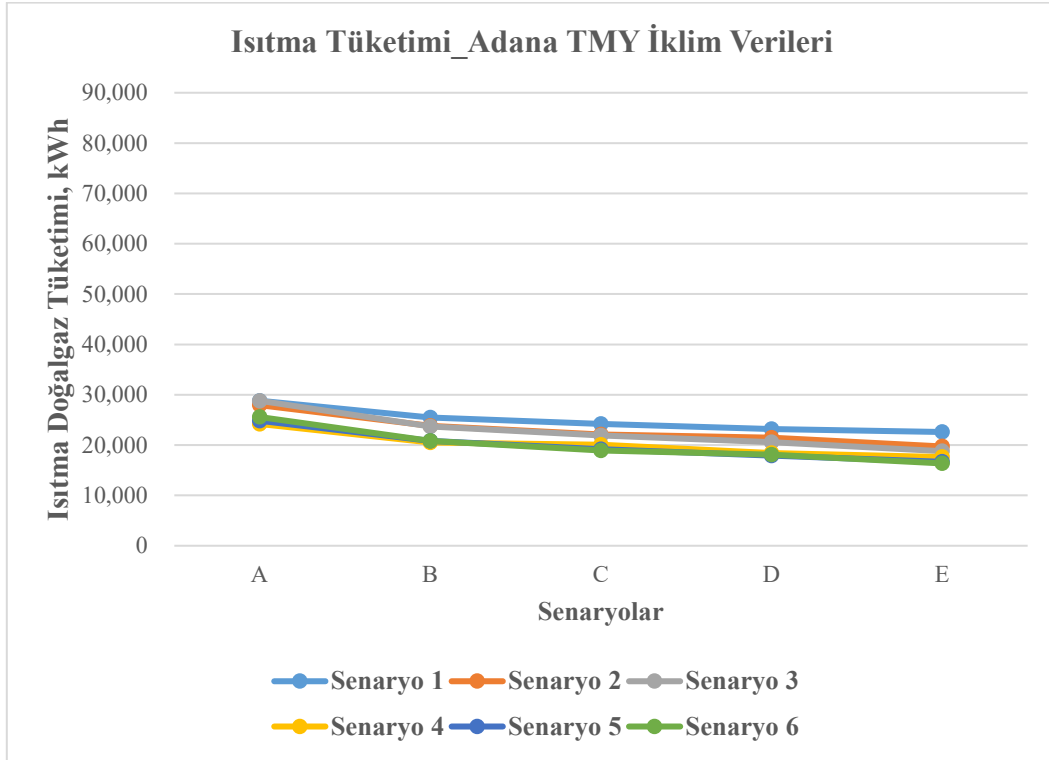
Dolayısıyla iklim değişikliği öngörülerinin gerçekleşmesi durumunda İzmir ilinde bulunan bir apartman binası için önümüzdeki yıllarda ısıtma tüketiminin önemli miktarda azalacağı yapılan simülasyonlar sonucunda görülmektedir.

4.1.4 Adana Isıtma Tüketimi Sonuçları

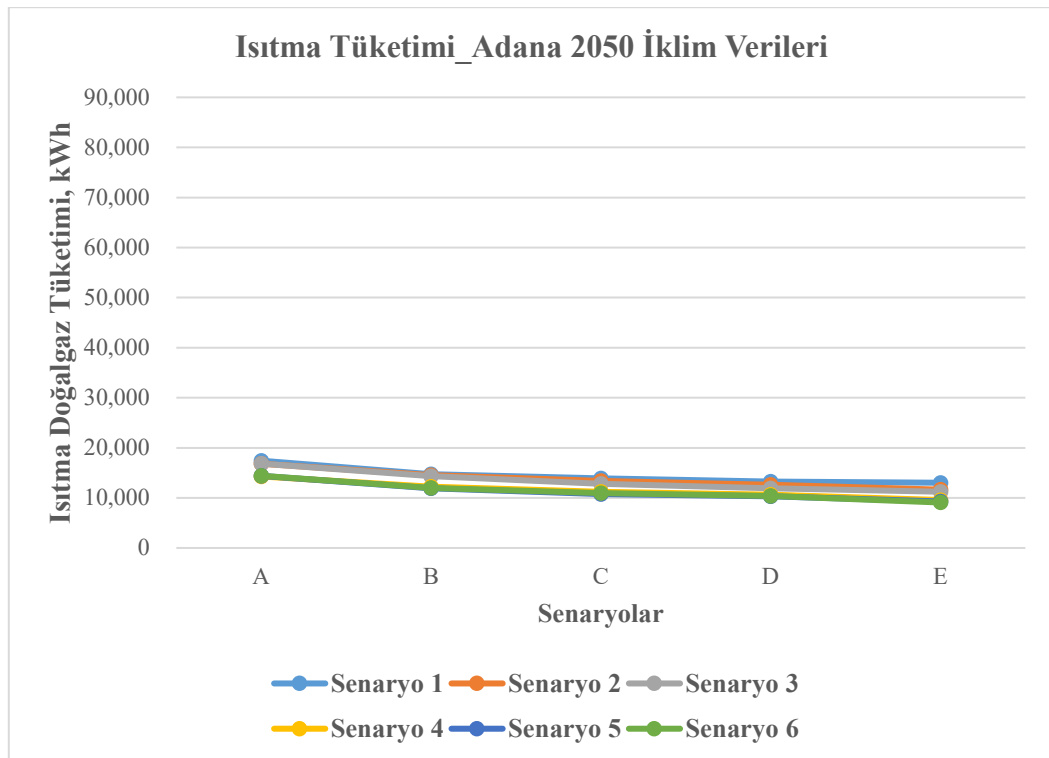
Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen dört şehir arasında ısıtma tüketiminin tüm senaryolarda en az çıktığı il Adana olmuştur. Aynı şekilde diğer şehirler için yapılan tüm senaryolarda olduğu gibi Adana için yapılan simülasyon sonuçlarında da cam güneş enerjisi geçirgenlik değerindeki artış ısıtma tüketimini azalmaya neden olmuştur. Cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %25 olduğu 3A senaryosunda TMY iklim verilerine göre %34,8, 2050 iklim verilerine göre ise %33,3'lük bir azalış görülmüştür. 3A senaryosunda cephe saydam alan oranı bu çalışmadaki en yüksek değer olan %55'tir. 3A senaryolarından farklı olarak ASHRAE 90.1 U-değerlerinin kullanıldığı 6A senaryolarında ise ısıtma tüketimindeki azalış oranları cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %44 olduğu 6E senaryolarına kıyasla TMY verileri için %36.1 ve 2050 iklim verileri için %37,1 şeklindedir. Cam güneş enerjisi geçirgenliğindeki artış ve cephe saydam alanındaki artışın ısıtma tüketiminde yol açtığı azalma miktarı oransal olarak bu çalışma kapsamında incelenen diğer illere oranla en fazla Adana ilinde olmuştur. Bu durumun sebebi ısıtma tüketim miktarının daha diğer şehirlere kıyasla daha düşük olmasıdır.

Pencere/duvar alanındaki artış ise ısıtma tüketimini cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri değişimine göre oransal olarak çok daha az etkilemiştir. Pencere alanının

fazla olduğu senaryolarda cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri artışı sonucu ısıtma tüketimindeki azalma oranının da arttığı görülmüştür.



Şekil 4.8 TMY iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Adana



Şekil 4.9 2050 yılı iklim verilerine göre ısıtma tüketimi, Adana

Bina kabuğunda yer alan opak alanların toplam ısı geçirme katsayısının küçülmesi ısıtma tüketiminde azalmaya yol açmıştır. Yalıtım kalınlıklarının artırılması sonucu ısıtma tüketiminde yaşanan düşüş oranı TMY senaryolarında yaklaşık %15 olurken 2050 iklim verilerinin kullanıldığı her senaryo seti için ortalama %18 şeklindedir.

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam ısıtma tüketimine bakıldığında, Adana ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %55 (TMY'ye göre) ve %63 (2050'ye göre) oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki il için MGM tarafından belirtilen ısıtma derece gün değerlerinin bu tüketim farkında etkili olduğu değerlendirilmektedir.

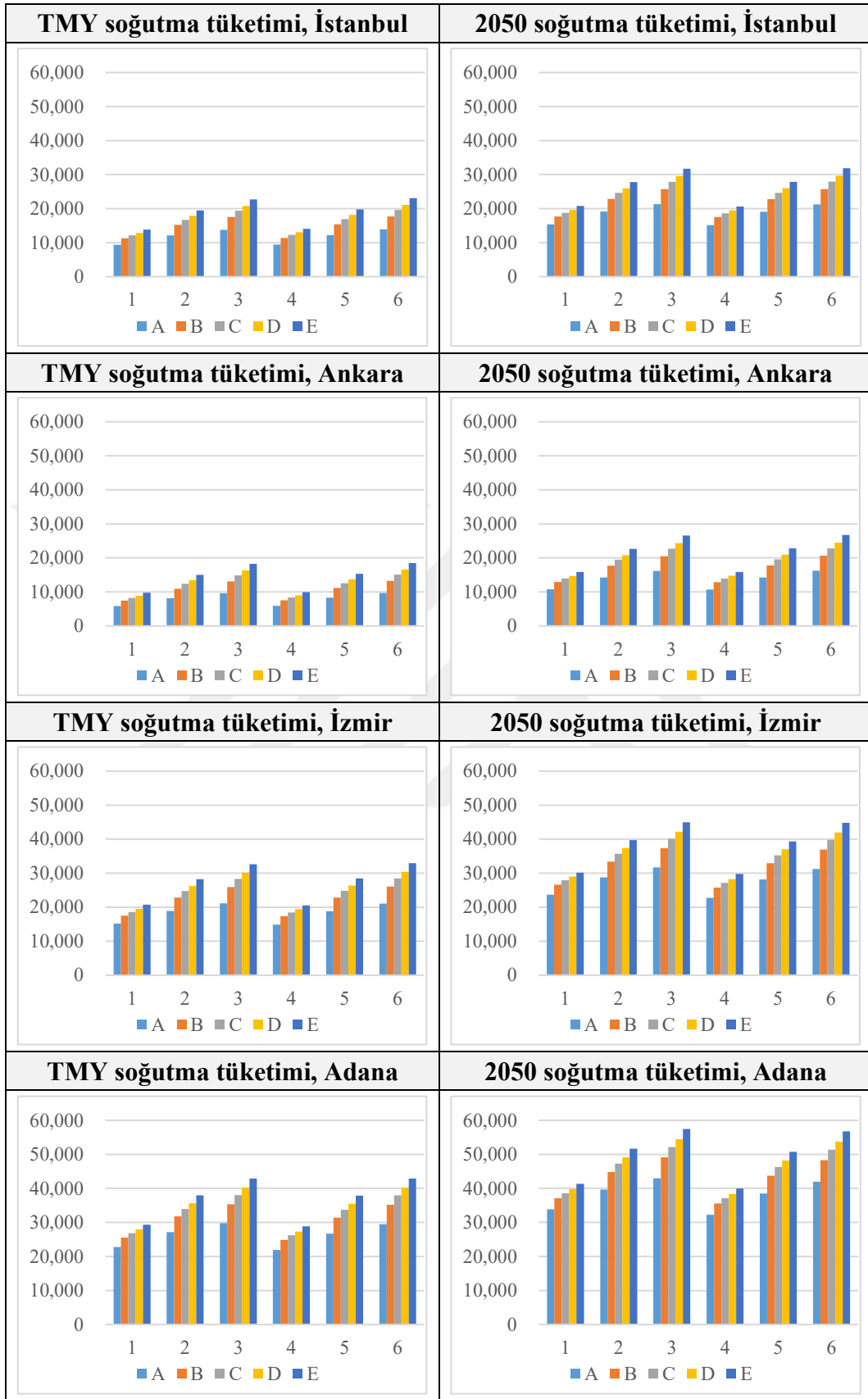
2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlar sonucunda yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri etkilerinin TMY iklim verileri ile yapılan modellerle benzer trendde olduğu görülmüştür. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %42 daha az ısıtma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Dolayısıyla iklim değişikliği öngörülerinin gerçekleşmesi durumunda Adana ilinde bulunan bir apartman binası için önümüzdeki yıllarda ısıtma tüketiminin ciddi bir oranda azalacağı yapılan simülasyonlar sonucunda görülmektedir.

4.2 Soğutma Tüketimi Karşılaştırması

Soğutma tüketimi analizi sonucunda tüm senaryolarda en yüksek tüketim değeri Adana şehrinde gerçekleşmiştir. Adana ilinden sonra ise sırasıyla İzmir, İstanbul ve Ankara en yüksek soğutma tüketimine sahip olan şehirler olmuştur. Yıllık soğutma tüketimi ile ilgili ortaya çıkan sonuçlar bu dört şehrin soğutma derece gün değerlerine uyumlu görülmektedir.

Tüm şehirlerde 2050 yılı iklim verilerine göre yapılan enerji modellemesi sonuçlarında soğutma tüketiminin belirgin oranda artacağı sonucuna varılmıştır. Her bir senaryo için soğutma tüketimi sonuçları Şekil 4.10'da paylaşılmaktadır.



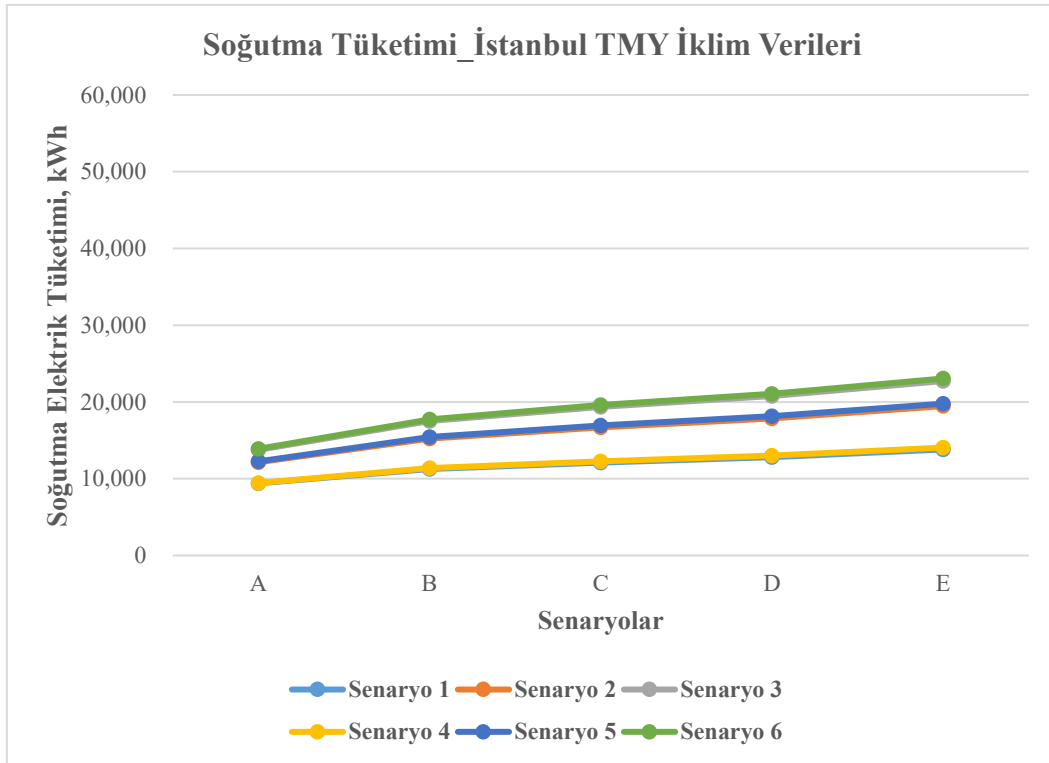
Şekil 4.10 Soğutma elektrik tüketimi karşılaştırması, kWh

4.2.1 İstanbul Soğutma Tüketimi Sonuçları

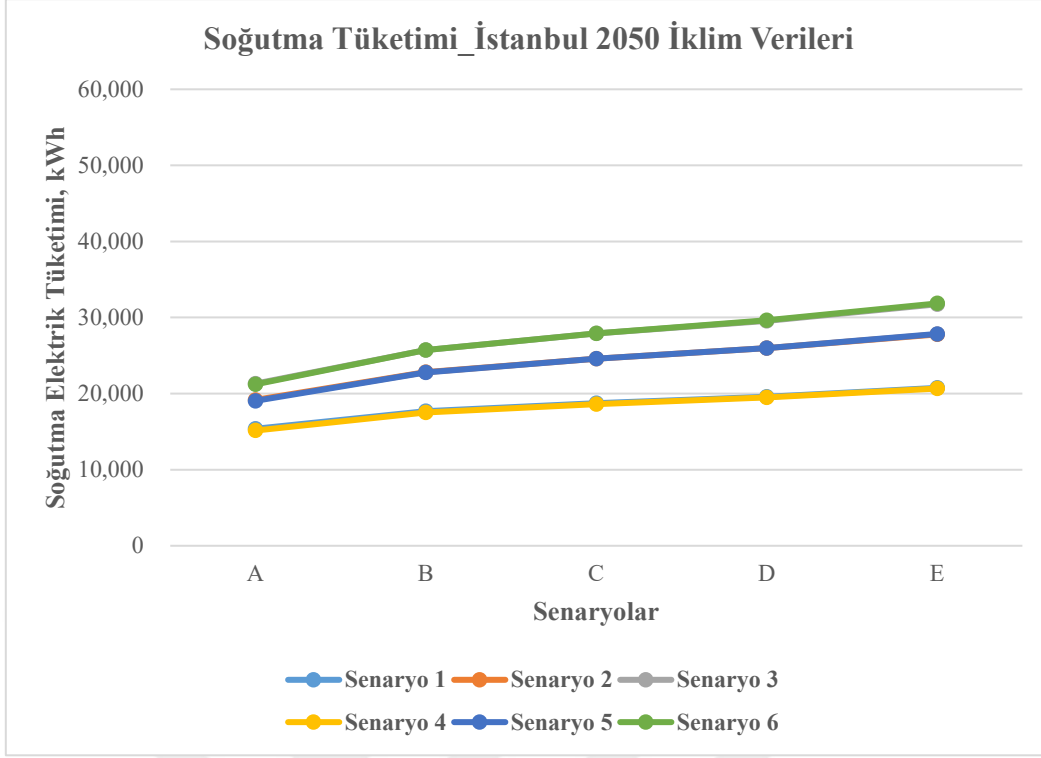
Senaryoların farklı iklim verileri ile modellenmesi sonucu soğutma tüketiminde yaşanan değişimler ısıtma tüketiminden farklı bir şekilde gerçekleşmiştir. Cephe camı güneş enerjisi geçirgenlik oranı arttıkça soğutma tüketiminde %65'e varan artışlar gözlemlenmiştir. Bu oran ısıtma tüketiminde maksimum %25 azalma şeklindedir. Dolayısıyla cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin değişimi, soğutma tüketimini ısıtma tüketimine göre oransal olarak yaklaşık 2,5 kat daha fazla etkilemektedir.

Bina cephesinde yer alan saydam alan artışı da soğutma tüketiminde artışa neden olmaktadır. TMY iklim verisi ile modellenen ve pencere/duvar oranı %31 olan 1A senaryosu ile pencere/duvar oranı %55 olan 3A senaryosu arasındaki soğutma tüketimi artışı %46 şeklindedir. Bu oran aynı senaryoların 2050 iklim verilerine göre modellendiği durumda %39 olmaktadır.

Bina kabuğu opak alanları toplam ısı geçirgenlik katsayısının (U-değeri) küçülmesi ise soğutma tüketiminde belirgin bir değişime yol açmamıştır. Dolayısıyla ısıtma tüketiminde ortalama %10 azalmaya yol açan bina kabuğu yalıtım kalınlıklarındaki artış soğutma tüketimini etkilememektedir.



Şekil 4.11 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İstanbul



Şekil 4.12 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İstanbul

Yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin TMY ve 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda benzer trendde değişime yol açtığı yukarıdaki grafiklerde görülmektedir. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %47 daha fazla soğutma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

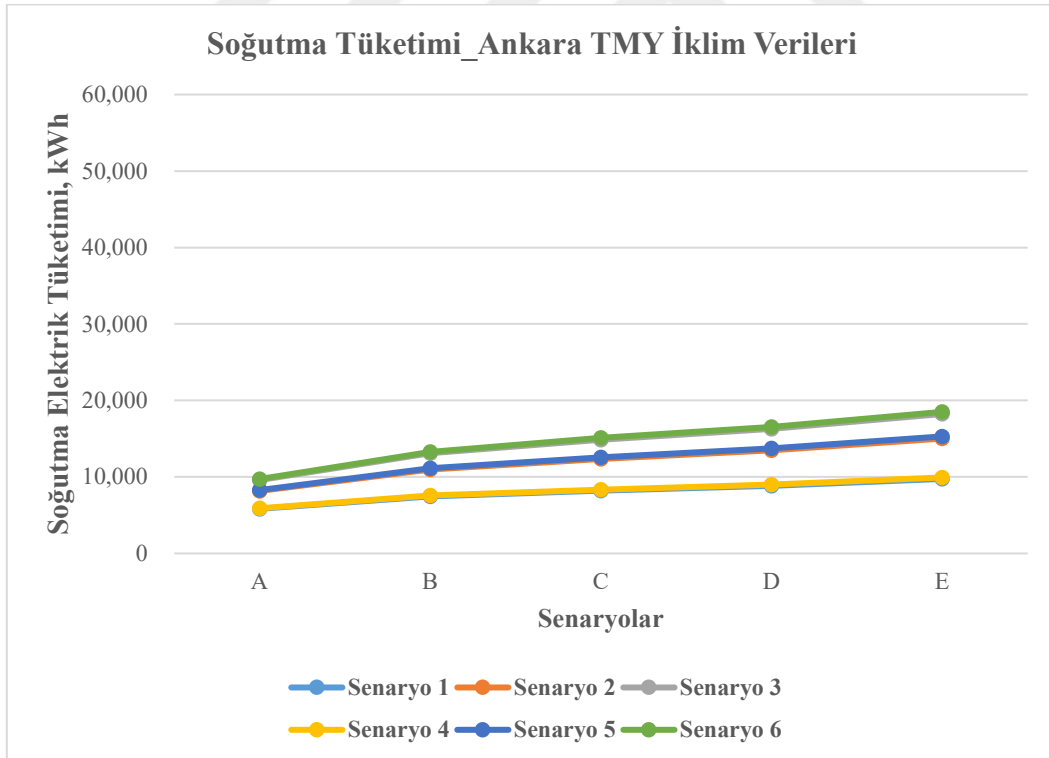
Dolayısıyla iklim değişikliği öngörülerinin gerçekleşmesi durumunda İstanbul ilinde bulunan bir apartman binası için önümüzdeki yıllarda soğutma tüketiminin yaklaşık 1.5 katına çıkabileceği yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmıştır.

4.2.2 Ankara Soğutma Tüketimi Sonuçları

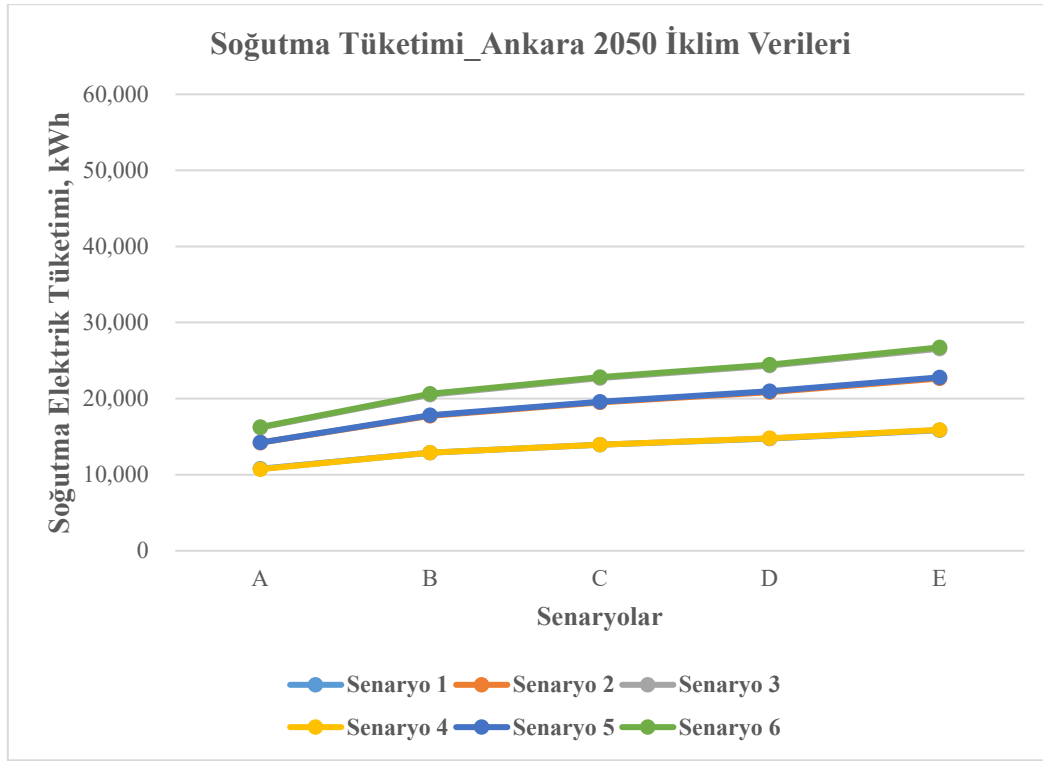
Soğutma tüketiminin bu tez kapsamında değerlendirilen iller arasında en az çıktığı şehir Ankara olmuştur. Ancak oransal olarak bakıldığında öngörülen 2050 iklim verileri ile yapılan enerji modellemeleri sonucunda soğutma tüketim miktarının en fazla artış gösterdiği şehir de yine Ankara ili olmuştur. Bu durumun oluşmasındaki ana sebep ise soğutma talebinin oransal olarak artışı olarak gösterilebilir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan soğutma derece gün değerlerine bakıldığında 2021 yılı toplam soğutma gün derecesi (CDD değeri) 247 iken 2024 yılı toplam CDD değeri 340 şeklinde olmuştur.

Cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri artışı ile soğutma tüketiminin oransal olarak en fazla etkilendiği senaryolar da yine Ankara ili diğer şehirlerden ayrılmıştır. Cephe saydam alan oranındaki artış miktarı cam güneş enerjisi geçirgenlik değerindeki artış ile birleştiğinde, soğutma tüketiminin neredeyse iki katına çıktığı gözlemlenmiştir. Cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %25 ve cephe saydam alan oranının %55 olduğu 3A ve 3E senaryoları arasındaki soğutma tüketimi artış oranı %90 olarak hesaplanmıştır. Bu değer TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Aynı senaryolar 2050 iklim verilerine göre incelendiğinde aralarındaki soğutma tüketim artış oranı %64 şeklinde gerçekleşmiştir. Oransal olarak artış miktarının düşmesindeki ana sebep TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda ortaya çıkan soğutma tüketiminin oldukça az olması neden olarak gösterilebilir.

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam soğutma tüketimine bakıldığında Ankara ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %27 (TMY'ye göre) ve %21 (2050'ye göre) oranında daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Ankara



Şekil 4.14 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Ankara

Yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin TMY ve 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda benzer trendde değişime yol açtığı yukarıdaki grafiklerde görülmektedir. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %58 daha fazla soğutma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

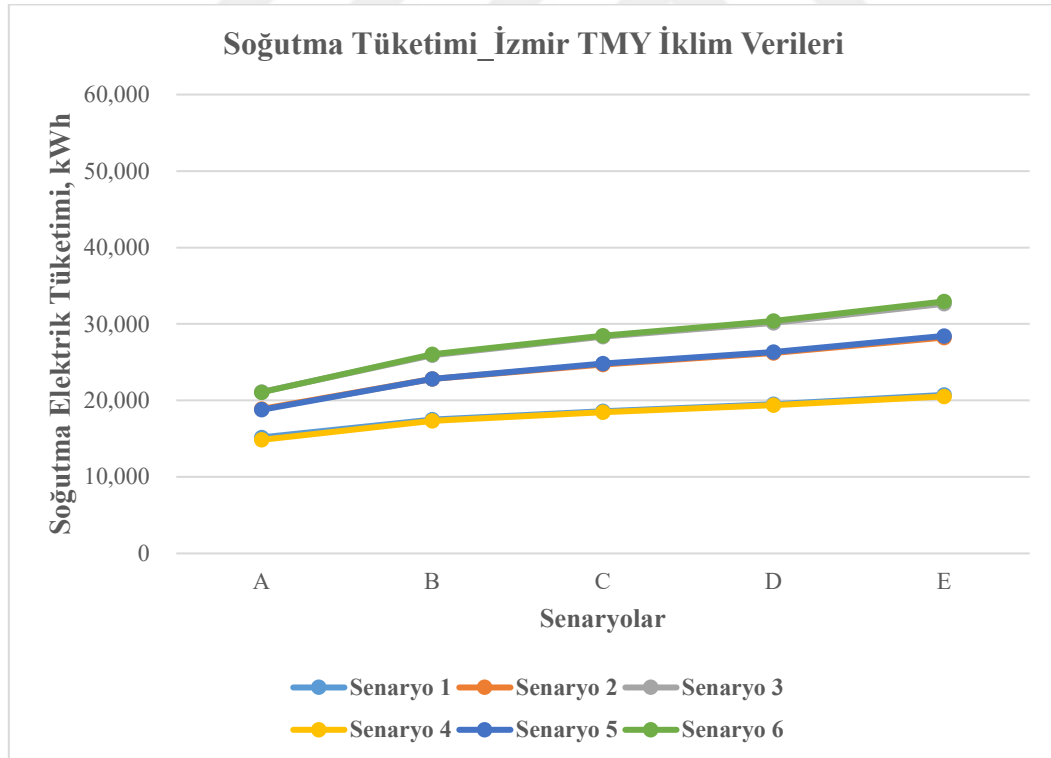
Dolayısıyla soğutma tüketim miktarı olarak bu tez çalışmasında değerlendirilen diğer illere göre en az tüketime sahip olan şehir Ankara olsa da iklim değişikliği sonucu oransal olarak soğutma tüketiminin en fazla artacağı şehir de yine Ankara olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2.3 İzmir Soğutma Tüketimi Sonuçları

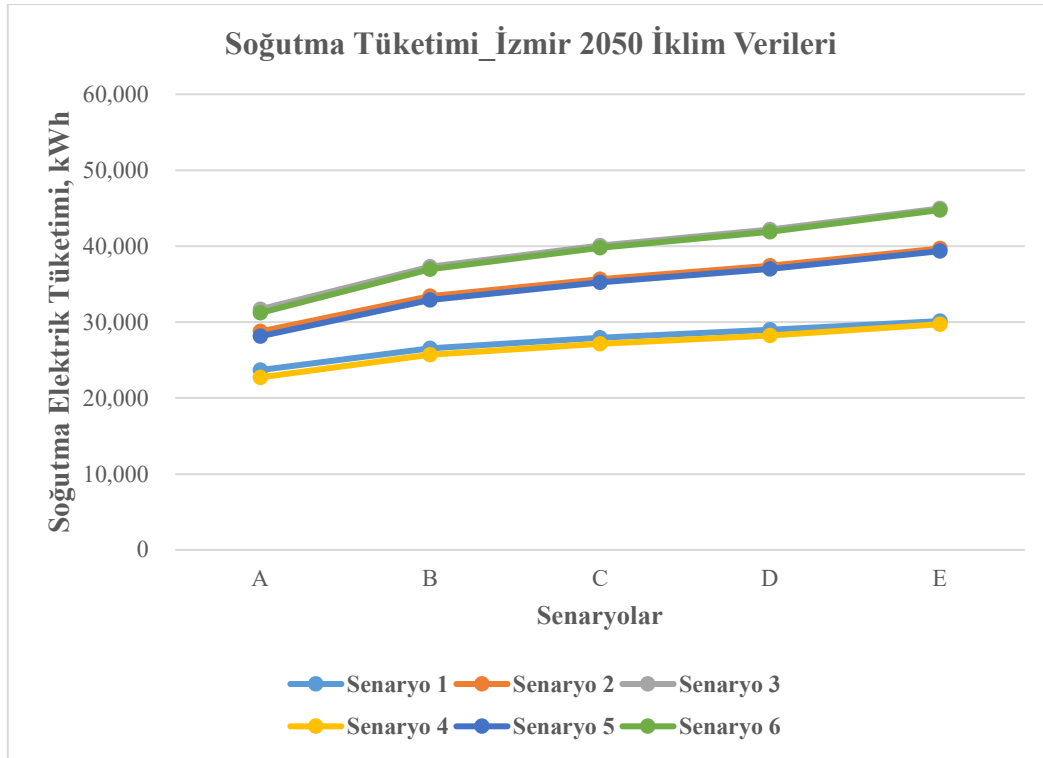
Bu çalışma kapsamında bina yapı fiziğinde uygulanan pasif önlemlerin özellikle soğutma tüketimine önemli ölçüde etkisi olduğu görülmüştür. Cam güneş enerji geçirgenliğinin ve bina cephesindeki saydam alanın artması, soğutma tüketimini artırmaktadır. Öte yandan yapı kabuğu opak alan ısı geçirgenlik katsayılarındaki değişim, soğutma tüketimini TMY iklim verilerine göre toplamda %0,1 oranında artırırken 2050 iklim verilerine göre %1,5 azaltmıştır.

Cephe saydam alan oranının sabit kaldığı ve cam güneş enerji geçirgenliğinin daha yüksek olduğu senaryolarda, soğutma tüketimi daha fazla çıkmıştır. Cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %44 olduğu, cephe saydam alan oranının %31 olduğu ve TMY iklim verilerinin kullanıldığı 4E senaryosunda, cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %25 olduğu 4A senaryosuna göre soğutma tüketimi %38 daha fazladır. Ancak soğutma tüketiminde artış oranı saydam alan miktarının %55 olduğu 6E ve 6A senaryoları karşılaştırmasında %56 değerini bulmaktadır. Yukarıda bahsedilen soğutma tüketimleri artış oranları aynı senaryolar için 2050 iklim verilerine göre tekrarlandığında ise soğutma tüketimindeki artış oranları TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarla karşılaştırıldığında yaklaşık %10 daha azdır.

Bina kabuğunda yer alan opak alanların toplam ısıl geçirgenlik katsayısının küçülmesi soğutma tüketiminde belirgin bir değişime yol açmamıştır. Isıtma tüketiminde ortalama %15 azalmaya yol açan bina kabuğu yalıtım kalınlıklarındaki artış soğutma tüketimini %0,1 oranında etkilemektedir.



Şekil 4.15 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İzmir



Şekil 4.16 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, İzmir

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam soğutma tüketimine bakıldığında, İzmir ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %48 (TMY'ye göre) ve %45 (2050'ye göre) oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki il için MGM tarafından belirtilen soğutma derece gün değerlerinin bu tüketim farkında etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin TMY ve 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda benzer trendde değişime yol açtığı yukarıdaki grafiklerde görülmektedir. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %44 daha fazla soğutma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Dolayısıyla iklim değişikliği öngörülerinin gerçekleşmesi durumunda İzmir ilinde bulunan bir apartman binası için önümüzdeki yıllarda soğutma tüketiminin yaklaşık 1,5 katına çıkabileceği yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmıştır.

4.2.4 Adana Soğutma Tüketimi Sonuçları

Isıtma tüketiminde en az miktara sahip olan Adana ili için soğutma tüketim değerleri bu durumun tam tersi şeklinde gerçekleşmiştir. Soğutma tüketimleri her senaryoda diğer üç ilin üzerinde çıkmıştır. Bina yapı fiziğinde uygulanan pasif

enerji verimliliği önlemlerinin soğutma tüketiminde önemli ölçüde etkisi olduğu görülmüştür.

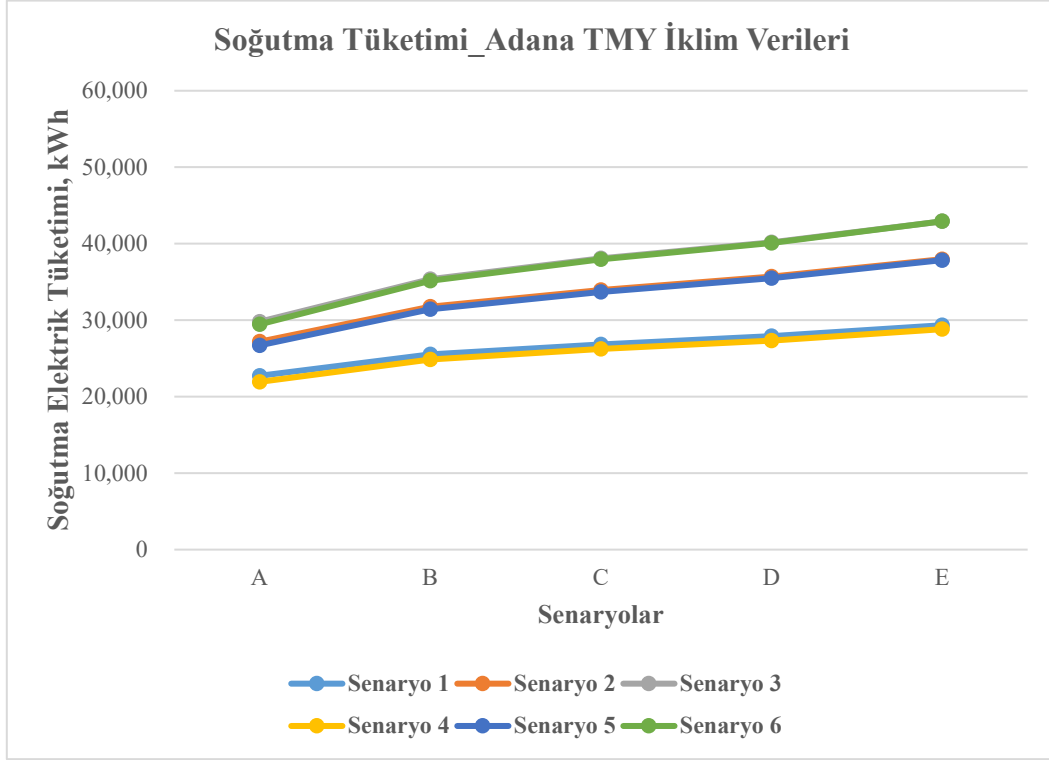
Cephe saydam alanındaki artışın soğutma tüketimini arttırdığı yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmıştır. En düşük pencere oranına (%31) sahip 1 ve 4 senaryoları ile en yüksek pencere alanına (%55) sahip 3 ve 6 senaryoları karşılaştırıldığında soğutma tüketimindeki artış oranı %30 ile %49 arasında değişmektedir. TMY iklim verilerinin kullanıldığı ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %44 olduğu 4E ve 6E senaryoları arasındaki soğutma tüketimi farkı %49 şeklinde hesaplanmıştır. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin %25 olduğu 4A ve 6A senaryoları arasındaki soğutma tüketimi farkı %30 olmuştur. Dolayısıyla cephe saydam alanı ile cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin birlikte artışı soğutma tüketimi talebini de daha fazla arttırmaktadır.

Yalnızca cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri değişiminin soğutma tüketimi üzerindeki etkisine bakıldığında ise özellikle TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlardaki azaltım farkının 2050 iklim verilerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin, cephe saydam alan oranının %55 olduğu ve TS 825 U-değerlerinin kullanıldığı 3A (SHGC: %25) ve 3E (SHGC: %44) senaryoları karşılaştırıldığında TMY iklim verilerine göre soğutma tüketiminde %44 oranında bir artış görülürken 2050 iklim verilerine yaklaşık %34 oranında bir artış hesaplanmıştır. Artış oranındaki azalma eğiliminin sebebi olarak soğutma tüketim miktarının niceliksel olarak 2050 iklim verilerinde daha fazla olması gösterilebilir.

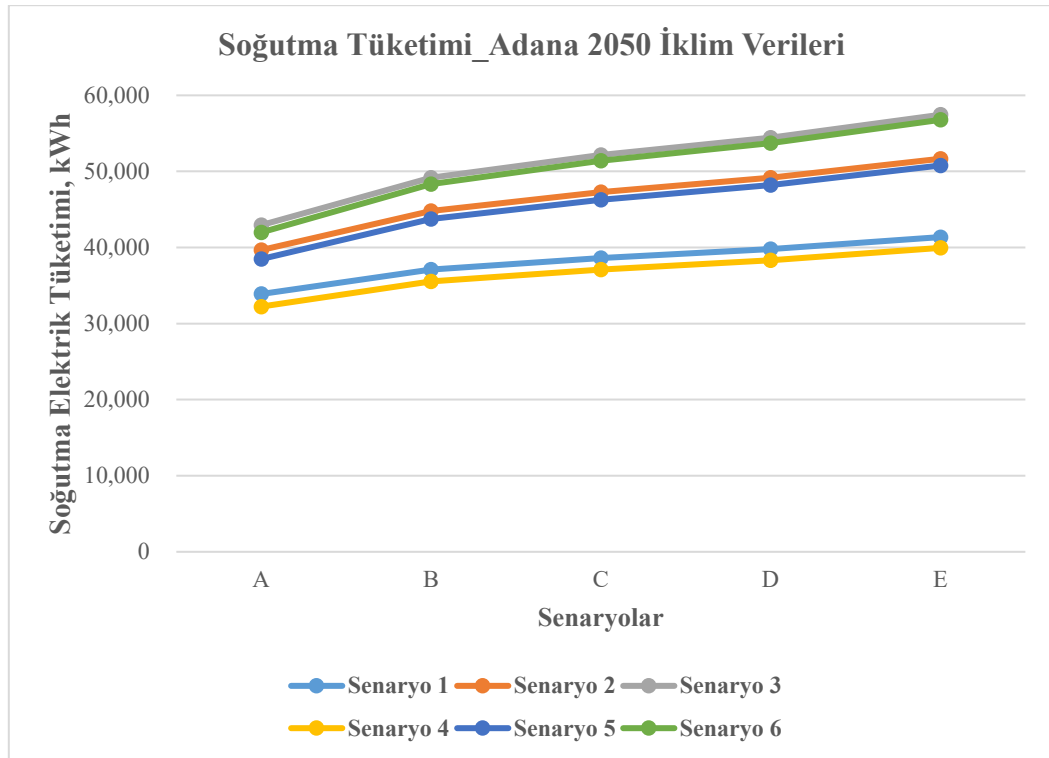
Yapı kabuğu opak yalıtım kalınlıklarındaki artış miktarı diğer şehirler için yapılan senaryolarda olduğu gibi Adana ili için de soğutma tüketiminde belirgin bir değişime yol açmamıştır. Ancak diğer şehirlerden farklı olarak 2050 iklim verilerinin kullanıldığı simülasyonlarda, yalıtım kalınlığının yüksek olduğu senaryolar (4, 5, 6) yalıtım kalınlığının düşük olduğu senaryolara (1, 2, 3) göre %2,4 daha az soğutma tüketimi gözlemlenmiştir.

TMY ve 2050 iklim verilerine göre tekrarlanan senaryolar için toplam soğutma tüketimine bakıldığında Adana ili sonuçlarının İstanbul iline göre sırasıyla %104 (TMY'ye göre) ve %93 (2050'ye göre) oranında daha fazla olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla İstanbul iline kıyasla Adana’da soğutma tüketiminin yaklaşık 2 katına denk geldiği görülmektedir.



Şekil 4.17 TMY iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Adana



Şekil 4.18 2050 yılı iklim verilerine göre soğutma tüketimi, Adana

Yapı fiziğinde uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin TMY ve 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda benzer trendde değişime yol açtığı yukarıdaki grafiklerde görülmektedir. Ancak 2050 iklim verileri kullanılan enerji modellemeleri sonuçlarının TMY iklim verileri senaryolarına göre toplamda yaklaşık %39 daha fazla soğutma tüketimine yol açtığı sonucuna varılmıştır. Oransal olarak hesaplanan fark diğer şehirlerde daha fazla olsa da niceliksel olarak bakıldığında Adana ili için soğutma tüketim miktarındaki artışın daha fazla olduğu görülmektedir.

4.3 Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Karşılaştırması

Toplam bina alanı 2.259,33 m², ısıtılan/soğutulan toplam alan ise 1.447,99 m² şeklindedir. Binada enerji modellemesine dahil edilen ve tüketime neden olan sistemler Tablo 4.1'deki gibi sıralanmaktadır. Bu sistemlerde tüketim değerleri her bir senaryoda sabit kalan yükler; priz yükleri, dış aydınlatma, yemek pişirme, asansör ve diğer yükler şeklindedir.

Tablo 4.1 Modelde enerji tüketimi yapan sistemler

Enerji Tüketen Sistemler	Enerji Tipi
Isıtma Sistemi	Doğalgaz
Kullanım Sıcak Su Sistemi	Doğalgaz
Yemek Pişirme	Doğalgaz
Soğutma Sistemi	Elektrik
İç Aydınlatma	Elektrik
Dış Aydınlatma	Elektrik
Priz Yükleri	Elektrik
Asansör ve Diğer Yükler	Elektrik
HVAC Sistem Fanları	Elektrik
HVAC Sistem Pompaları	Elektrik

İç aydınlatma tüketimleri pencere alanına sahip mahallerde yer alan gün ışığı sensörü nedeniyle farklı senaryolarda değişiklik göstermekle birlikte değişim oranı maksimum %9 şeklindedir.

HVAC sistem fan ve pompaları ise split klima iç ünite fanı ve kombi sıcak su pompası gibi küçük yüklerden oluştuğu için bu tüketimlerdeki değişiklikler toplam enerji tüketimini belirgin bir şekilde etkilememektedir.

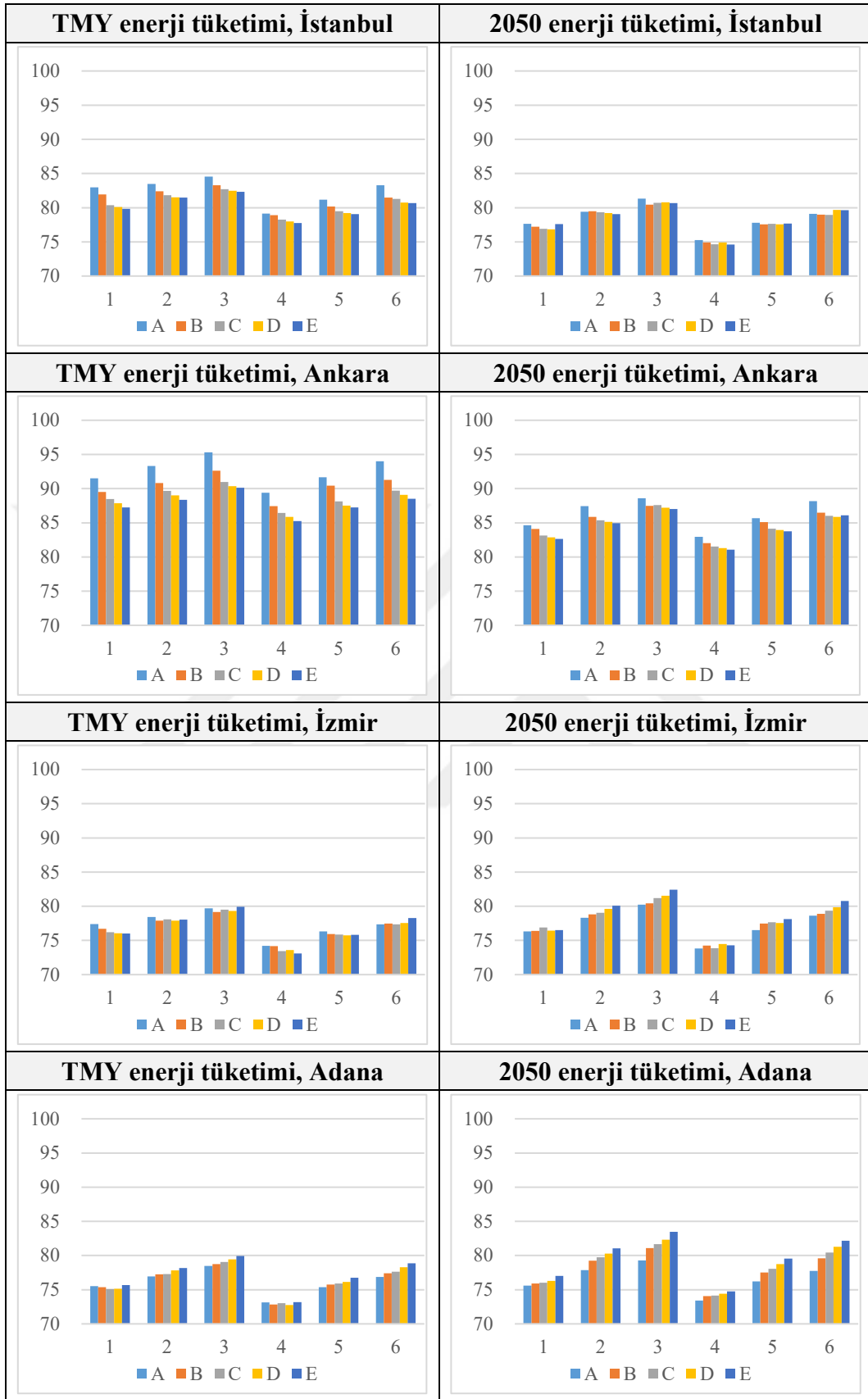
Kullanım sıcak su sistemindeki değişim ise yalnızca yüzeyden kaybedilen ısı kaybına bağlı olduğu ve tüm senaryolarda maksimum değişim oranı %1'in altında kaldığı için sabit tüketim olarak kabul edilebilir.

Dolayısıyla her bir senaryoda ısıtma ve soğutma tüketimlerinde farklı değişimler olmakla birlikte iç aydınlatma tüketiminde de daha az oranda değişim olduğu yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmıştır. Binadaki diğer tüketimler ise genel olarak tüm senaryolarda sabit tüketim olarak değerlendirilmiştir.

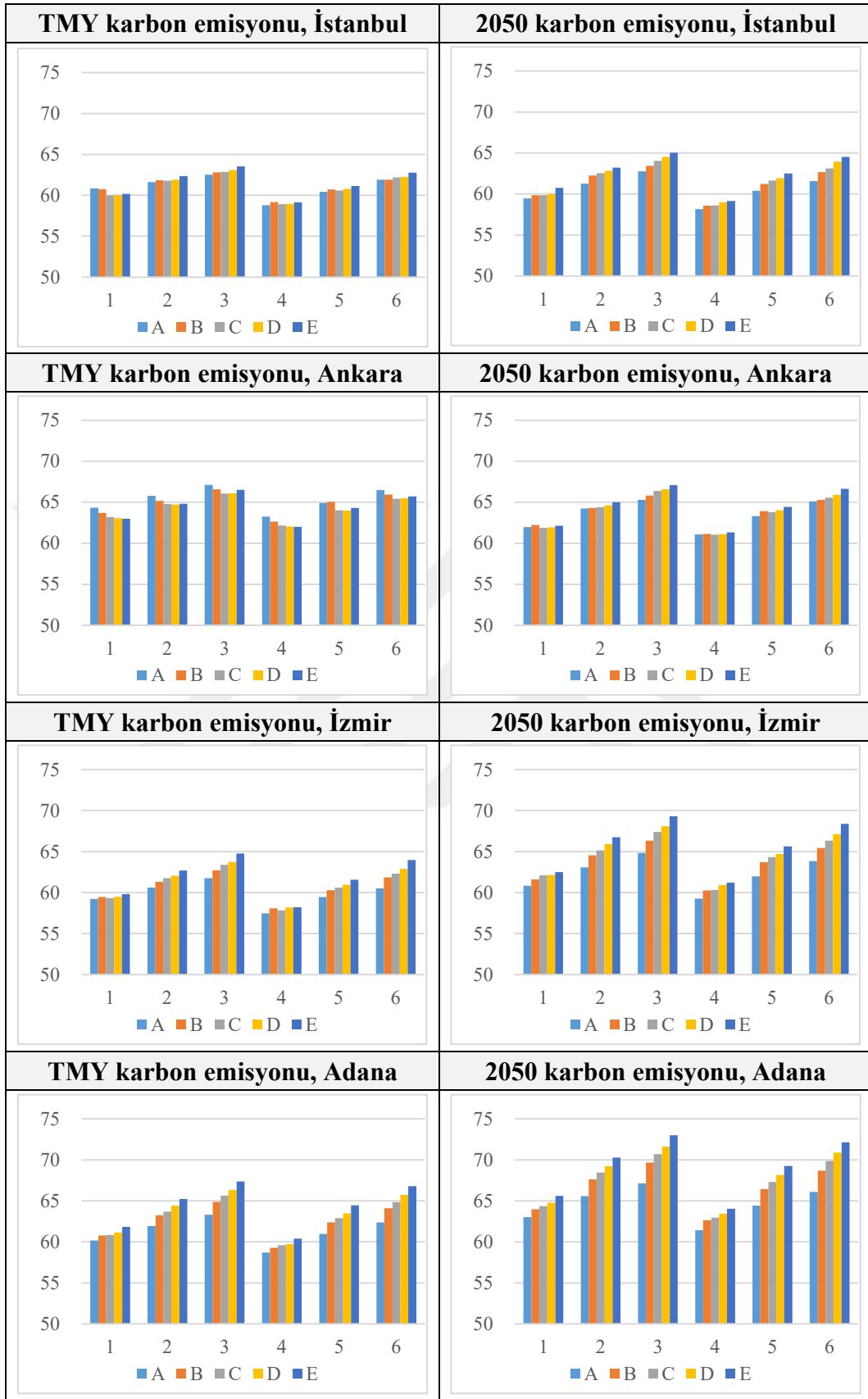
Her bir senaryo için toplam enerji tüketimi ve karbon emisyonu sonuçları incelenmiştir. Isıtma sezonunun İstanbul, İzmir ve Adana şehirlerine göre daha baskın olduğu Ankara ilinde TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarının 2050 yılı iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarından fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Isıtma tüketimindeki azalma miktarının niceliksel olarak soğutma tüketimindeki artıştan daha fazla olması sebebiyle bu durum meydana gelmiştir. Enerji tüketim yoğunluğunda TMY ve 2050 yılı sonuçları arasındaki fark daha belirgin iken karbon emisyonu sonuçlarında bu farkın daha az olduğu gözlemlenmiştir. İstanbul için de enerji tüketim yoğunluğu 2050 yılı iklim verilerinde TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlara kıyasla daha az olmakla birlikte karbon emisyonunda 2050 yılı sonuçlarının toplamda daha fazla olduğu görülmüştür.

İzmir ve Adana şehirleri için yapılan simülasyon sonuçlarına bakıldığında ise hem enerji tüketim yoğunluğu hem de karbon emisyonunun 2050 yılı sonuçlarında daha fazla olduğu görülmektedir. Soğutma sezonunun bu tez kapsamında değerlendirilen dört il arasında en baskın olduğu Adana şehrinde 2050 yılı iklim verilerine göre yapılan enerji modellemesi sonuçlarının TMY verileri sonucu ortaya çıkan tüketimlerden diğer şehirlere oranla daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen tüm enerji modellemesi sonuçları enerji tüketim yoğunluğu ve karbon emisyonu açısından ilerleyen bölümlerde detaylandırılmıştır. Tüm senaryoların bulunduğu özet grafikler Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de paylaşılmaktadır.



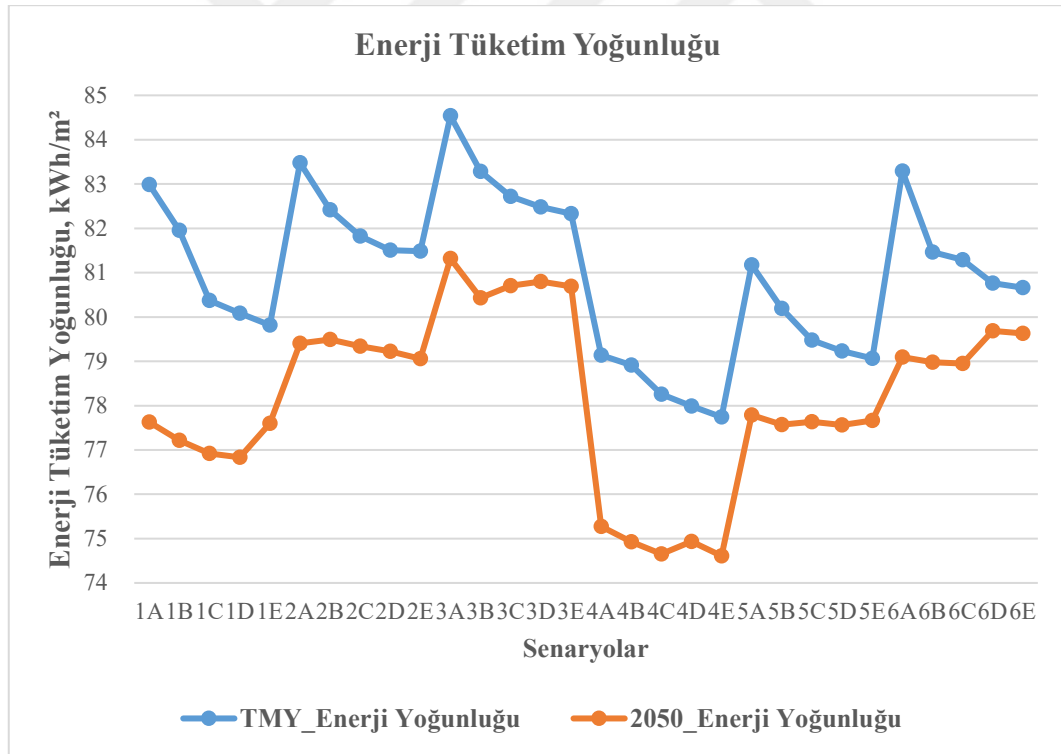
Şekil 4.19 Toplam enerji tüketimi karşılaştırması, kWh/m²



Şekil 4.20 Toplam karbon emisyon eşdeğeri karşılaştırması, mtCO₂e

4.3.1 İstanbul Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları

Bina toplam enerji yoğunluğu değerlerine bakıldığında TMY ve 2050 iklim verileri arasındaki farkın yaklaşık ortalama %3,5 olduğu görülmektedir. 2050 iklim verilerine göre gerçekleştirilen enerji simülasyon sonuçlarının, TMY iklim verileri ile gerçekleştirilen simülasyonlara göre daha az olmasının sebeplerinden birisi ısıtma sisteminde doğalgaz kullanırken, soğutma sisteminde elektrik enerjisi kullanılmasıdır. 2050 iklim verileri senaryolarında soğutma tüketimi daha fazla artış oranına sahip olsa da, soğutma talebinin karşılanması için kullanılan multi split klima verim değeri EER: 3,49 şeklinde modele girilmiştir. Öte yandan ısıtma ihtiyacının karşılanması için kullanılan yoğunmalı kazan verim değeri %96 şeklindedir. Dolayısıyla 2050 iklim senaryolarında, TMY iklim senaryolarına göre soğutma sistemi elektrik tüketimindeki artış miktarı, ısıtma sistemi doğalgaz tüketimindeki azalış oranından fazla olsa da enerji tüketimi açısından birbirlerini dengelemektedir.

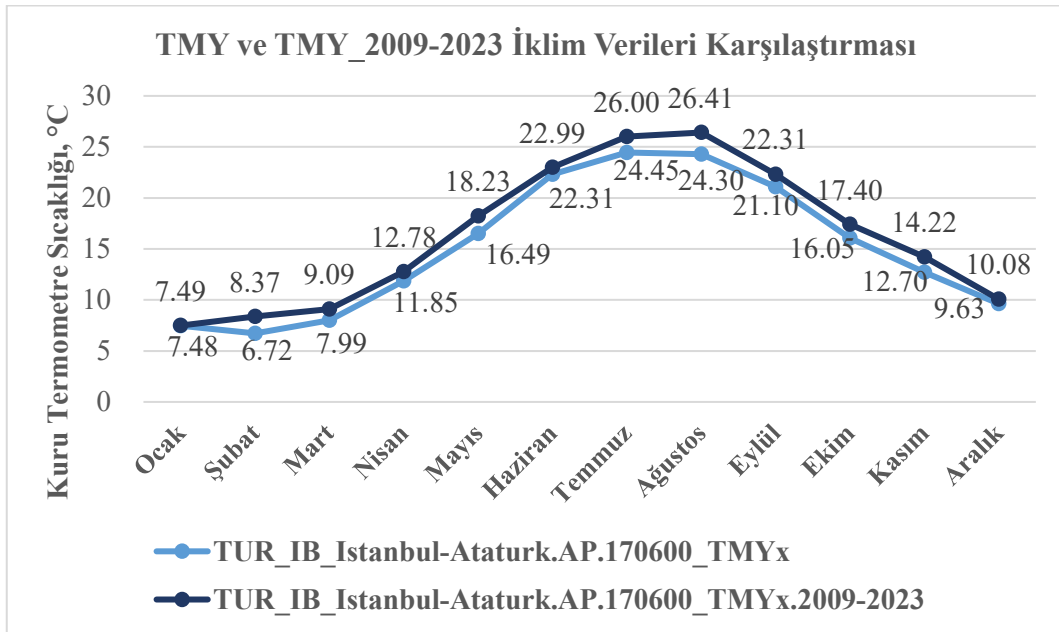


Şekil 4.21 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, İstanbul

TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonucunda ortaya çıkan tüketim yoğunluğunun 2050 yılı iklim verilerine göre gerçekleştirilen simülasyonlara göre daha fazla olmasının bir diğer nedeni ise modelde kullanılan TMY verilerinin kayıtlar

altına alınan tüm geçmiş yılları yansıttığından dolayı kaynaklanmaktadır. Climate One Building tarafından paylaşılan ve 2009-2023 yılları arasındaki iklim verilerini yansıtan TMY iklim verileri incelendiğinde tüm zamanlar TMY verisine göre daha yüksek ortalama sıcaklıkların olduğu görülmektedir. 2009-2023 yılları verisine göre modelleme yapıldığında ısıtma tüketimi düşerken soğutma tüketimi artacaktır. Dolayısıyla 2009-2023 yılları iklim verisine göre yapılacak olan bir simülasyonda ısıtma tüketimi geçmiş yıllar TMY verilerine göre yapılan yıllık enerji tüketimine göre çok daha az olacakken, soğutma tüketimi ise daha fazla olacaktır. İklim değişikliği sonucu artan kuru termometre sıcaklıkları göz önüne alındığında, günümüz iklim koşullarının 2009-2023 yılı verilerinden de daha fazla kuru termometre sıcaklığına sahip olduğunu göstermektedir.

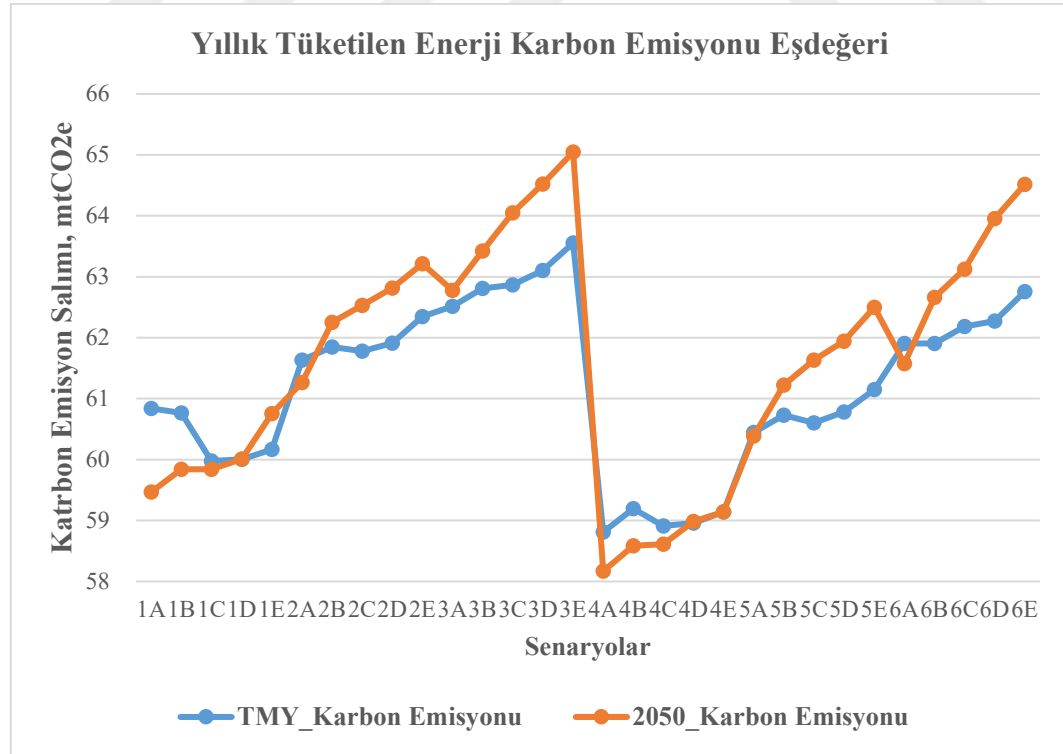
Sonuç olarak geçmiş yıllar TMY iklim verilerine göre gerçekleştirilen simülasyonlarda ısıtma tüketiminin, günümüz iklim koşullarına göre çok daha fazla ve soğutma tüketiminin ise çok daha az olması beklenmektedir. Bu durumda Şekil 4.21’de gösterilen tüketim farklarının günümüz iklim verileri ile 2050 yılı iklim verileri şeklinde karşılaştırılması yapıldığında 2050 yılı tüketimlerinin günümüz tüketimlerinden daha fazla olacağı öngörülmektedir. Tüm geçmiş yıllar iklim verilerini içeren TMY verileri ile 2009-2023 yılları arasındaki iklim verilerini yansıtan aylık ortalama kuru termometre sıcaklıkları Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



Şekil 4.22 TMY ve TMY_2009-2023 kuru termometre sıcaklıkları, İstanbul

Şekil 4.21’de görüleceği üzere enerji tüketim yoğunluğu en az çıkan senaryo hem TMY hem de 2050 iklim senaryolarına göre 4E olmuştur. Tüketim yoğunluğunun en fazla olduğu senaryo ise iki farklı iklim verilerine göre de 3A senaryosu olmuştur. 3A senaryosunda bina kabuğu opak alan performans değerleri TS 825-2013 standardına göre belirlenmiştir. Bina cephesi saydam alan oranı %55 iken cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri ise %25 şeklindedir. 4E senaryosunda ise bina kabuğu ısıl geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş, cephe saydam alan oranı %31 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri ise %44 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla enerji yoğunluğu karşılaştırması açısından bakıldığında bu çalışma kapsamında incelenen senaryolardan cam oranı en küçük, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri (solar faktör değeri) değeri en büyük ve dolu alan yalıtım kalınlığı daha fazla seçeneğin en az enerji tüketimine yol açtığı görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen sonuçların daha net anlaşılabilmesi için karbon emisyonu açısından da değerlendirmesi yapılmıştır. Karbon emisyonu hesabı yapılırken elektrik tüketimi için 0,478 kgCO₂e/kWh değeri kullanırken doğalgaz tüketimi için 0,234 kgCO₂e/kWh değeri kullanılmıştır [43].



Şekil 4.23 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, İstanbul

Karbon emisyon miktarlarına bakıldığında enerji tüketim yoğunluğu tablosundan daha farklı bir sonuç ortaya çıkmaktadır. 2050 senaryoları TMY senaryolarına göre toplam yaklaşık %1 daha fazla çıkmaktadır.

Karbon emisyon miktarının en fazla olduğu senaryo her iki iklim verisinde de 3E senaryosu olmuştur. 3E senaryosunda bina kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825-2013 standardına göre belirlenmiş olup, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 ve cephe saydam alan oranı %55 şeklindedir. Karbon emisyon miktarının her iki iklim verisinde de en düşük olduğu 4A senaryosunda ise ısıl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %25 ve saydam alan oranı %31 şeklindedir. Dolayısıyla simülasyon sonuçları karbon emisyonu açısından değerlendirildiğinde, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri ve cephe saydam alan oranı en düşük değerlere sahip olan senaryolarda daha az karbon emisyonu hesaplanmıştır. Buna ek olarak yalıtım kalınlıklarının daha fazla olduğu senaryonun da, sadece bina yıllık enerji tüketimi açısından bakıldığında karbon emisyonu açısından daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir.

2050 iklim verileri öngörülerindeki sıcaklık artışı soğutma tüketimini ciddi oranda etkilemekle birlikte ısıtma tüketiminde de belirgin bir düşüşe neden olmaktadır. Isıtma tüketim yoğunluğunun diğer bina tiplerine göre daha fazla olduğu konut binalarında dahi cam oranı ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin azaltılması ile yalıtım kalınlığının artırılması karbon emisyonunda azaltıma yol açmaktadır. Toplam karbon emisyon ve enerji tüketim yoğunluklarındaki değişim oranları her iki iklim verilerinde %5'in altında kalsa da çıkan sonuçlar ısıtma/soğutma sisteminde yapılabilecek aktif sistem önlemleri ve bu tez çalışmasında incelenen yapı fiziki enerji verimliliği önlemleri ile önemli miktarda azaltım yapılabileceğini göstermektedir. Soğutma talebinin yüksek olduğu gündüz saatlerinde kullanılan hizmet binaları için de yukarıda incelenen pasif sistem enerji verimliliği önlemlerinin karbon emisyon azaltımında konut binasına göre çok daha etkili olacağı simülasyon sonuçlarına göre yorumlanmaktadır.

4.3.2 Ankara Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları

Enerji simülasyonlarında tüketime etki eden tüm sistemler bölüm 4.3'te belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan senaryolar bina kabuğu

performans değerleri ve iklim verileri Ankara ili gerekliliklerine göre değiştirilerek tekrar edilmiştir.

İç aydınlatma tüketimleri diğer şehirler için yapılan simülasyon sonuçlarına benzer şekilde Ankara ili için de değişiklikler göstermiştir. Pencere alanına sahip mahallerde yer alan gün işığı sensörü nedeniyle farklı senaryolarda değişiklik göstermekle birlikte aydınlatma tüketimindeki değişim oranı maksimum %9 şeklindeyir. Aydınlatma tüketiminin en fazla olduğu senaryo 2050 iklim verisinin kullanıldığı 1B ve 4B senaryoları olurken aydınlatma tüketiminin en az olduğu senaryolar TMY iklim verilerinin kullanıldığı 3C, 3D, 6C ve 6D senaryoları olmuştur.

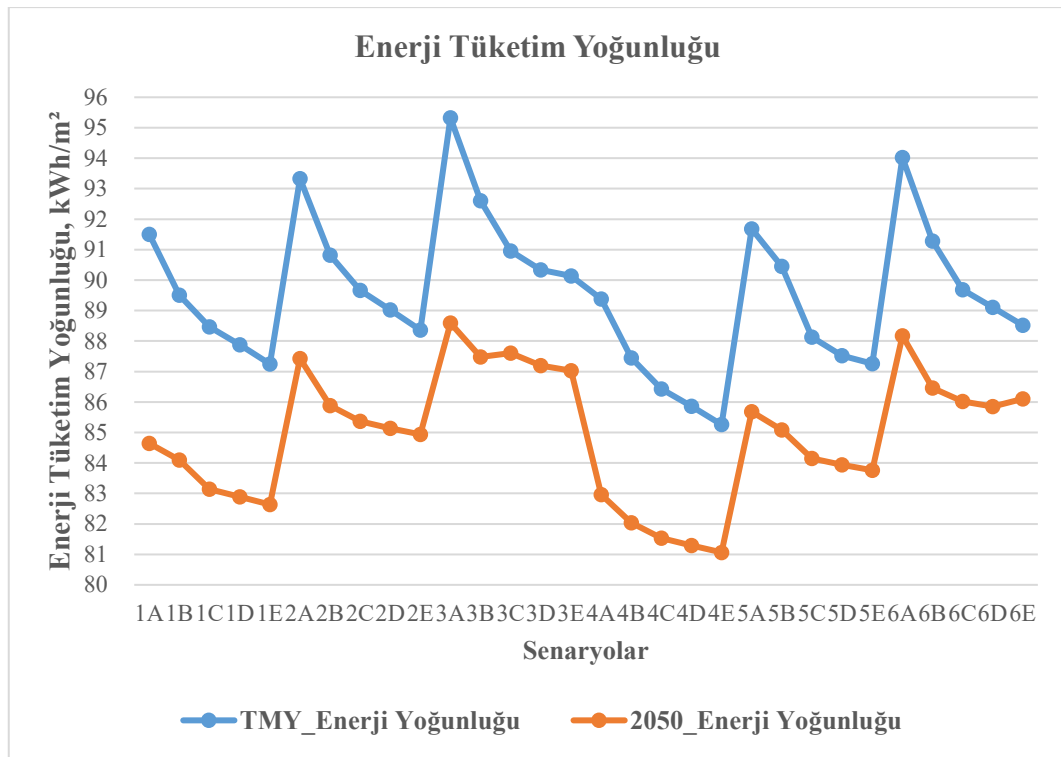
Enerji modellemesi senaryolarında ısıtma sistemi, soğutma sistemi ve aydınlatma sistemi dışında kalan sistemlerde toplam sonucu etkileyecek miktarda bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Aydınlatma tüketimindeki değişim ısıtma ve soğutma tüketimine göre oldukça sınırlı kalmıştır.

Bina toplam enerji yoğunluğu değerlerine bakıldığında TMY ve 2050 iklim verileri arasındaki farkın yaklaşık ortalama %5,2 olduğu görülmektedir. 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarının TMY iklim verileri ile gerçekleştirilen simülasyonlara göre daha az olmasının sebebi ise Ankara ilinde ısıtma tüketimin soğutma tüketimine kıyasla oldukça yüksek olmasıdır. İlim değişikliği sonucunda ısıtma tüketiminde ciddi bir azalış gerçekleşse de soğutma tüketimindeki artış miktarı daha fazla olacaktır. Ancak tüketimler arasındaki farkın fazla olması sebebiyle 2050 verilerine göre toplam yıllık enerji tüketim yoğunluğu TMY iklim verilerine daha az olacaktır.

TMY iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda yıllık enerji tüketim yoğunluğunun en az çıktığı senaryo 4E senaryosudur. 4E senaryosu aynı zamanda 2050 iklim verilerine göre de en az tüketim yoğunluğuna sahip senaryodur (4E_2050: 81,07 kWh/m², 4E_TMY: 85,26 kWh/m²). Bu senaryolarda ısııl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alan oranı en az seçenek olan %31 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 şeklindeyir. Soğutma tüketiminin baskın olduğu Adana ve İzmir illerinde 2050 iklim verilerine göre en az tüketim yoğunluğunun hesaplandığı senaryolar SHGC değerinin en

düşük olduğu 4A senaryoları olurken Ankara ve İstanbul illerinde SHGC değerinin en yüksek olduğu 4E senaryosudur.

Enerji tüketim yoğunluğunun en fazla çıktığı senaryo ise hem TMY iklim verileri ve hem de 2050 iklim verileri için 3A senaryosu olmuştur. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı 3A senaryosu için hesaplanan enerji yoğunluğu değeri TMY verilerine göre yapılan simülasyondan daha azdır (3A_2050: 88,59 kWh/m², 3A_TMY: 95,32 kWh/m²). Bu senaryoda ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825-2013 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alanı oranı %55 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %25 şeklindedir.



Şekil 4.24 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, Ankara

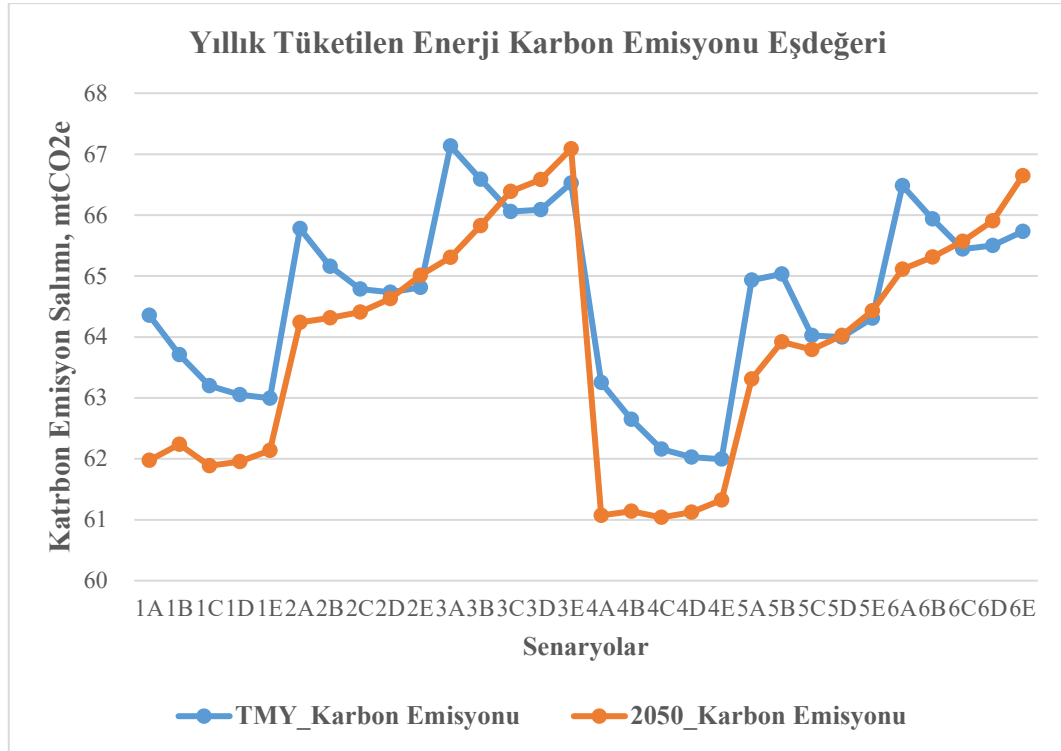
Şekil 4.24'te paylaşılan enerji tüketim yoğunluğu grafiğine bakıldığında İstanbul ili için paylaşılan grafikte benzer bir trend göze çarpmakla birlikte TMY ve 2050 senaryoları arasındaki farkın Ankara şehri için daha belirgin olduğu görülmektedir.

Ankara ili için çıkan sonuçlar İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında TMY iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda enerji yoğunluğunun toplamda yaklaşık %11 oranında artış göstermiştir. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı senaryolara bakıldığında ise artış oranının yaklaşık %9 olduğu hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre aynı tip bir konut binası için TMY ve öngörülen 2050 iklim verilerine göre Ankara şehrinde enerji tüketim yoğunluğunun İstanbul ile karşılaştırıldığında daha fazla olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonucun temel nedeni ise ısıtma tüketimindeki farktan kaynaklanmaktadır. Hem TMY hem de 2050 iklim verilerine göre Ankara için yapılan simülasyonlarda ortaya çıkan ısıtma tüketimi İstanbul ili sonuçlarından minimum %50 daha fazladır.

Dolayısıyla yukarıda bahsedilen enerji modellemesi sonuçları enerji yoğunluğu karşılaştırması açısından değerlendirildiğinde Ankara ili için incelenen senaryolardan cam oranı en büyük, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri en küçük ve yalıtım kalınlığı daha az olan seçeneğin en fazla enerji tüketimine yol açtığı görülmektedir.

Enerji tüketim değerlerinin karbon emisyonu açısından da değerlendirmesi yapılmıştır. İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırma yapıldığında TMY iklim verilerine göre hesaplanan karbon emisyon değerlerinde yaklaşık %6 oranında, 2050 iklim verilerine göre ise yaklaşık %4 oranında fark olduğu görülmektedir. Ankara ili için hesaplanan emisyon değerleri İstanbul iline göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonucun ana sebebi ise Ankara şehri için yapılan senaryolarda ısıtma tüketiminin daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.25 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, Ankara

Karbon emisyon miktarlarındaki değişim 2050 senaryolarında TMY senaryolarına göre %1,1 daha azdır. Dolayısıyla ısıtma tüketimindeki azalış oransal olarak soğutma tüketimine göre çok daha az olsa da niceliksel olarak daha fazla olması sebebiyle toplam emisyon miktarında %1,1 oranında azalma olacağı hesaplanmıştır. Emisyon eşdeğeri ile ilgili trendler Şekil 4.24'te paylaşılmaktadır.

Karbon emisyon miktarının en fazla olduğu senaryo TMY iklim verilerine göre 3A senaryosu olurken 2050 iklim verilerine göre ise 3E senaryosu olmuştur (3A_TMY: 67.14 mtCO₂e, 3E_2050: 67.09 mtCO₂e). 3A senaryosunda bina kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik değerleri TS 825 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alan oranı %55 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %25 şeklindedir. 3E senaryosunda ise 3A'dan farklı olarak cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 şeklindedir. Bu sonuçlara göre geçmiş yıllar iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda ısıl geçirgenlik katsayı değerinin daha önemli olduğu ancak iklim değişikliği ile cam güneş enerjisi geçirgenliğinin önem kazandığı sonucuna varılmıştır.

Karbon emisyon miktarının en az olduğu senaryolar ise TMY iklim verileri için 4E olurken 2050 iklim verilerine göre 4C senaryosu olmuştur (4E_TMY: 61,99 mtCO₂e, 4C_2050: 61,04 mtCO₂e). Bu senaryolarda opak alan ısıl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alan oranı %31 şeklindedir. 4E senaryosunda cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 iken 4C senaryosunda bu değer %37'dir. İklim değişikliği sonucu olarak solar kontrollü cam seçiminin karbon emisyonunda azaltım amacıyla değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Buna ek olarak simülasyon sonuçları karbon emisyonu açısından değerlendirildiğinde, cephe saydam alan oranı en düşük ve yalıtım kalınlıklarının daha fazla olduğu senaryoların daha az emisyonla sahip olduğu görülmektedir.

2050 iklim verileri öngörülerindeki sıcaklık artışı Ankara ili için soğutma tüketimini belirgin bir miktarda artırmaktadır. Ancak ısıtma tüketiminde de ciddi miktarda bir azalış olacağı hesaplanmaktadır. Bina cephesinde daha az miktarda saydam alan olması toplam tüketiminin azaltılması için önemli olsa da cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri en düşük olan senaryolarda tüketim miktarı artmaktadır. Bu çalışmada yer alan diğer illerde cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin daha

az olduğu senaryolar tüketime azaltılması açısından daha optimum bir çözüm olmakla birlikte bu durum Ankara ili için farklı sonuçlara yol açmaktadır. Isıtma talebinin yoğun olduğu Ankara şehrinde cam güneş enerjisi geçirgenlik değerin artırılması, ısıtma tüketime azaltılması açısından önerilebilir. Ancak cam güneş enerjisi geçirgenlik değeriindeki artış miktarı belirli bir seviyeyi geçtikten sonra soğutma tüketime olumsuz etki etmesinden dolayı sınırlandırılmalıdır. Bu çalışmada Ankara ili için karbon emisyonu ve iklim değışikliğı etkileri açısından bakıldığında cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %37 şeklinde belirlenmesinin diğeri senaryolara göre daha avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır.

4.3.3 İzmir Toplam Enerji Tüketi mi ve Karbon Emisyonu Sonuçları

Bu çalışma kapsamında oluşturulan senaryolar bina kabuğı performans değeri ve iklim verileri İzmir ili gerekliliklerine göre değıştirilerek tekrar edilmiştir.

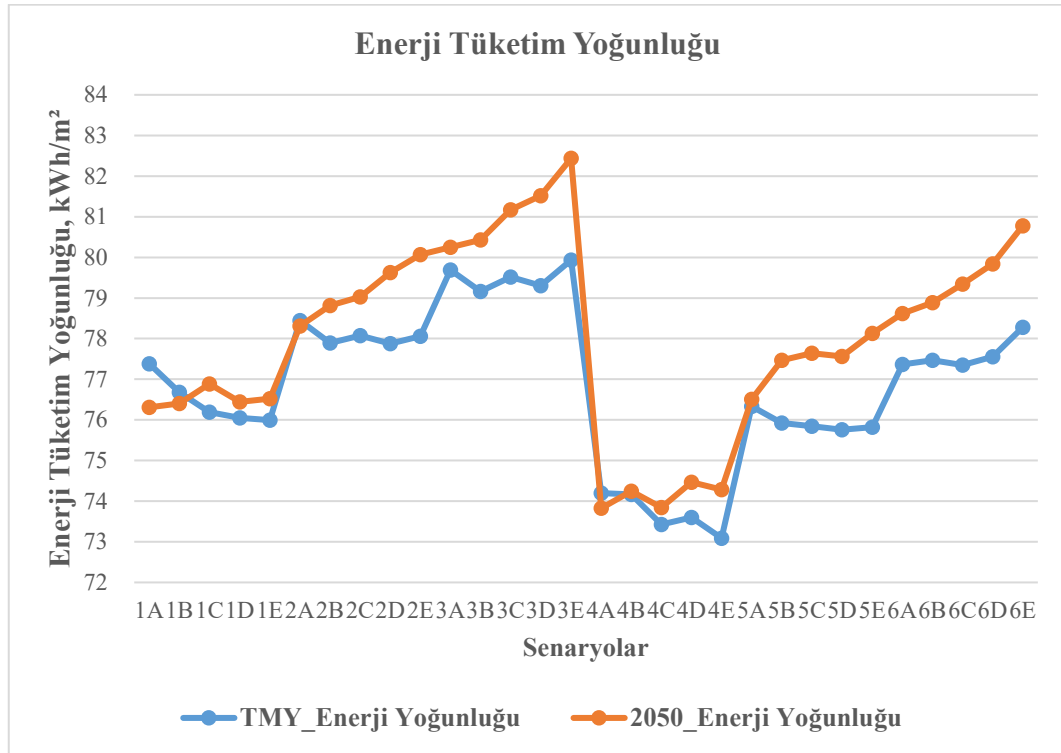
İç aydınlatma tüketimleri pencere alanına sahip mahallerde yer alan gün ışığı sensörü nedeniyle farklı senaryolarda değışiklik göstermekle birlikte aydınlatma tüketimindeki değışim oranı maksimum %9 şeklindedir. Bu oran İstanbul ili için yapılan simülasyonlarda da benzer seviyede çıkmıştır. Aydınlatma tüketime en fazla olduğu senaryo 2050 iklim verilerinin kullanıldığı 1B ve 4B senaryoları olurken aydınlatma tüketime en az olduğu senaryolar TMY iklim verilerinin kullanıldığı 3C, 3D, 6C ve 6D senaryoları olmuştur.

Enerji modellemesi senaryolarında ısıtma sistemi, soğutma sistemi ve aydınlatma sistemi dışında kalan sistemlerde toplam sonucu etkileyecek miktarda bir değışim olmadığı gözlemlenmiştir. Aydınlatma tüketimindeki değışim ısıtma ve soğutma tüketime göre oldukça sınırlı kalmıştır.

İzmir ili için çıkan sonuçlar İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında TMY iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda enerji yoğunluğunun toplam yaklaşık %5 oranında azaldığı görülmektedir. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı senaryolara bakıldığında ise her iki il için çıkan sonuçların birbirine yakın olduğu ve aralarındaki farkın %0,25 şeklinde gerçekleştiğı hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre aynı tip bir konut binası için geçmiş iklim verilerine göre İstanbul ilinde İzmir iline göre daha fazla yıllık enerji tüketimi olurken 2050 iklim verilerine göre yıllık enerji tüketimleri iki ilde de

eşitlenmektedir. Dolayısıyla İstanbul'a göre daha güneyde yer alan İzmir ili için iklim krizi etkilerinin daha belirgin olacağı sonucuna varılmaktadır.

Bina toplam enerji yoğunluğu değerlerine bakıldığında TMY ve 2050 iklim verileri arasındaki farkın yaklaşık ortalama %1,5 olduğu görülmektedir. 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarının TMY iklim verileri ile gerçekleştirilen simülasyonlara göre daha fazla olmasının sebebi İzmir ilinde soğutma sezonunun daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.26 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, İzmir

Şekil 4.26'da de görüleceği üzere enerji tüketim yoğunluğu en az çıkan senaryolar TMY iklim verilerine göre 4E olurken 2050 iklim verilerine göre 4A olmuştur. Ancak her iki senaryo için çıkan sonuçlar birbirine çok yakındır (4A_2050: 73.83 kWh/m², 4E_TMY: 73.16 kWh/m²). Bu senaryolarda ısıl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alan oranı en az seçenek olan %31 değerindedir.

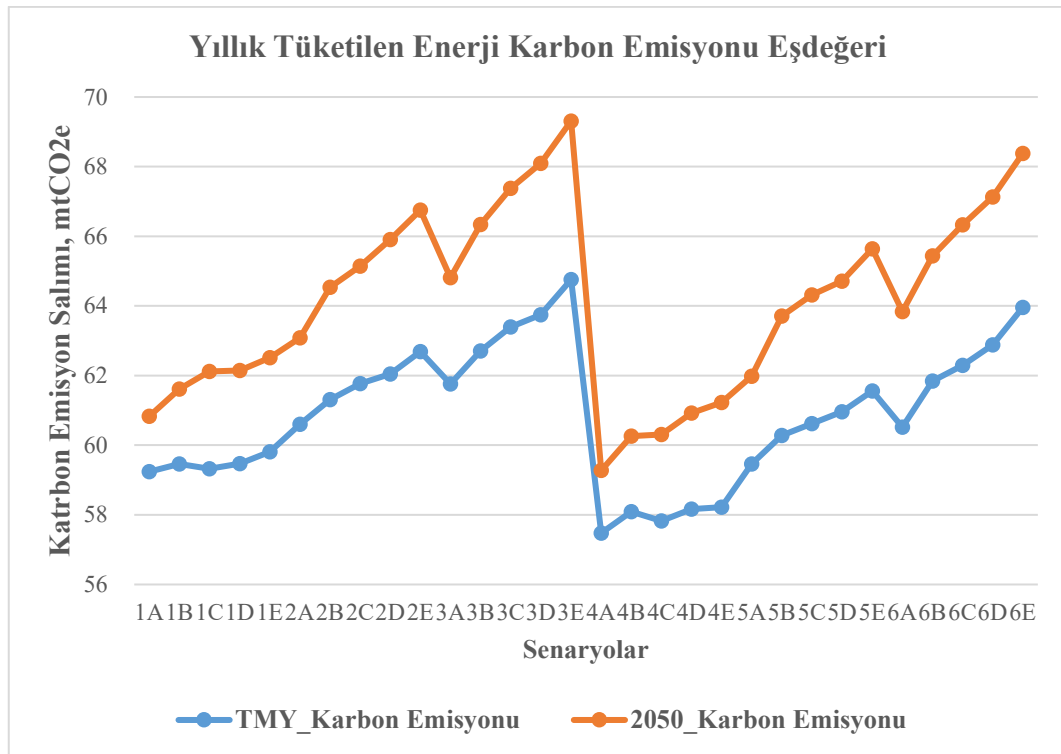
Enerji tüketim yoğunluğunun en fazla çıktığı senaryo ise hem TMY iklim verileri ve hem de 2050 iklim verileri için 3E senaryosu olmuştur. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı 3E senaryosu için hesaplanan enerji yoğunluğu değeri TMY verilerine göre yapılan simülasyondan daha fazladır (3E_2050: 82.44 kWh/m², 3E_TMY:

79.93 kWh/m²). Bu senaryoda ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alanı oranı %55 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 şeklindedir.

Dolayısıyla yukarıda bahsedilen enerji modellemesi sonuçları enerji yoğunluğu karşılaştırması açısından değerlendirildiğinde bu çalışma kapsamında incelenen senaryolardan cam oranı en büyük, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri en büyük ve yalıtım kalınlığı daha az olan seçeneğin en fazla enerji tüketimine yol açtığı görülmektedir.

Enerji tüketim değerlerinin karbon emisyonu açısından da değerlendirmesi yapılmıştır. İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırma yapıldığında TMY iklim verilerine göre hesaplanan karbon emisyon değerlerinde belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Ancak 2050 iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda İzmir ili için çıkan sonuçların İstanbul iline göre %4'ten daha fazla oranda arttığı hesaplanmıştır.

Karbon emisyon miktarlarındaki değişim 2050 senaryolarında TMY senaryolarına göre %5,4 daha fazladır. Dolayısıyla soğutma tüketimindeki artışın ısıtma tüketimindeki azalışa oranla daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.27 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değerleri, İzmir

Karbon emisyon miktarının en fazla olduğu senaryo her iki iklim verisinde de 3E senaryosu olmuştur. 3E senaryosunda bina kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825 standardına göre belirlenmiş olup cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 ve cephe saydam alan oranı %55 şeklindedir. 3E TMY senaryosunda karbon emisyon eşdeğeri 64.75 mtCO₂e iken 2050 senaryosunda 69.31 mtCO₂e şeklindedir.

Karbon emisyon miktarının her iki iklim verisinde de en düşük seviyede olduğu 4A senaryosunda ise ısıl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %25 ve saydam alan oranı %31'dir. 4A TMY senaryosunda karbon emisyon eşdeğeri 57.48 mtCO₂e iken 2050 senaryosunda 59.27 mtCO₂e şeklindedir. Dolayısıyla simülasyon sonuçları karbon emisyonu açısından değerlendirildiğinde, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri ve cephe saydam alan oranı bu çalışmada belirtilen senaryolarda en düşük değerlere sahip olan önlemlerin daha az emisyonu yol açtığını göstermektedir. Buna ek olarak yalıtım kalınlıklarının daha fazla olduğu senaryonun da karbon emisyonu açısından daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir.

2050 iklim verileri öngörülerindeki sıcaklık artışı İzmir ili için soğutma tüketimini belirgin bir miktarda artırmaktadır. Isıtma tüketiminde azalış olsa da soğutma tüketimindeki artış oranı genel tüketim içerisinde baskın gelmektedir. Bina cephesinde daha az miktarda saydam alan olması ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin daha az olduğu senaryolar soğutma tüketiminin azaltılması açısından en ideal senaryolar olarak karşımıza çıkmıştır. Yapı kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik katsayılarındaki değişimin ise soğutma tüketimine belirgin bir etkide bulunmadığı ancak ısıtma tüketiminde yaklaşık %15 oranında bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

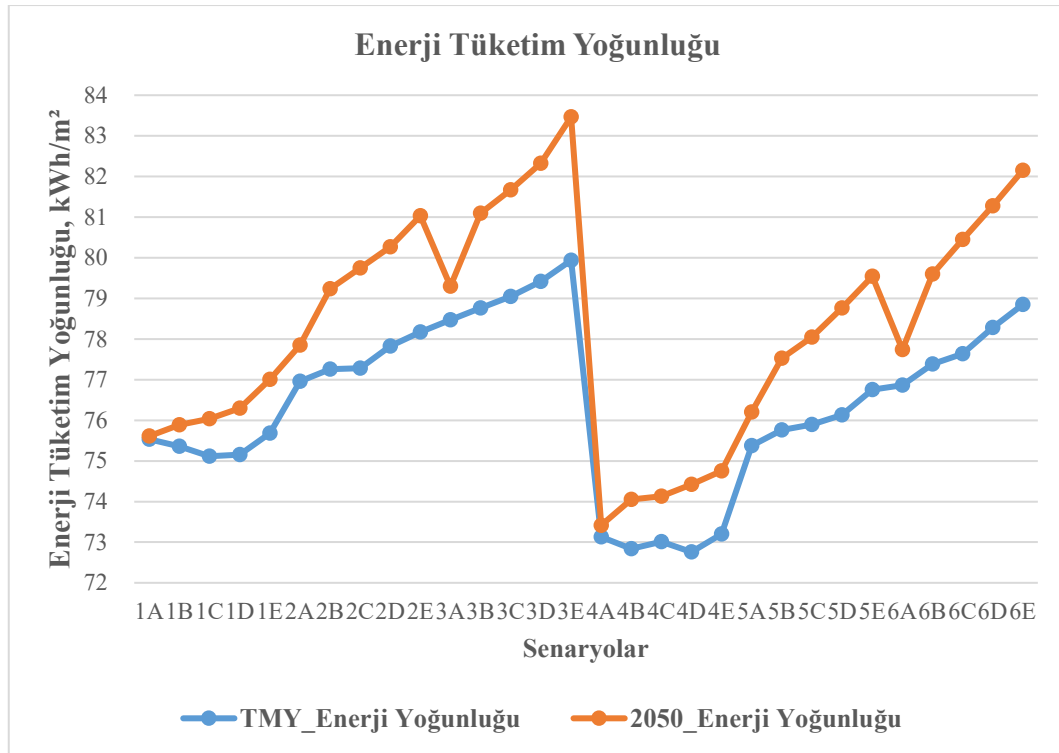
4.3.4 Adana Toplam Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu Sonuçları

Adana ili için yapılan simülasyonlar sonucunda iç aydınlatma tüketimleri pencere alanına sahip mahallerde yer alan gün ışığı sensörü nedeniyle farklı senaryolarda değişiklik göstermekle birlikte aydınlatma tüketimindeki değişim oranı maksimum %9 olarak hesaplanmıştır. Bu oran diğer iller için yapılan simülasyonlarda da benzer seviyede çıkmıştır. Aydınlatma tüketiminin en fazla olduğu senaryo 2050 iklim verilerinin kullanıldığı 1B ve 4B senaryoları olurken aydınlatma tüketiminin

en az olduğu senaryolar TMY iklim verilerinin kullanıldığı 3C, 3D, 6C ve 6D senaryoları olmuştur. Gün ışığı geçirgenlik seviyeleri B, C ve D senaryolarında sırasıyla %50, %70 ve %70 şeklindedir.

Enerji modellemesi senaryolarında ısıtma sistemi, soğutma sistemi ve aydınlatma sistemi dışında kalan sistemlerde toplam sonucu etkileyecek miktarda bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Aydınlatma tüketimindeki değişim ısıtma ve soğutma tüketimine göre oldukça sınırlı kalmıştır.

Adana ili için çıkan sonuçlar İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında TMY iklim verilerinin kullanıldığı senaryolarda enerji yoğunluğunun toplam yaklaşık %6 oranında azaldığı görülmektedir. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı senaryolara bakıldığında ise her iki il için çıkan sonuçların birbirine yakın olduğu ve aralarındaki farkın %0,14 şeklinde gerçekleştiği hesaplanmıştır. Geçmiş iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda İstanbul ilinde Adana'ya kıyasla daha fazla yıllık enerji tüketimi olurken 2050 iklim verilerine göre yıllık enerji tüketimleri iki ilde de eşitlenmektedir. Dolayısıyla İstanbul'a göre daha güneyde yer alan Adana ili için iklim krizi etkilerinin daha belirgin olacağı sonucuna varılmaktadır. Adana ve İzmir şehirleri için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları bu açıdan benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.28 Tüm senaryolar için toplam enerji tüketim değerleri, Adana

Bina toplam enerji yoğunluğu değerlerine bakıldığında TMY ve 2050 iklim verileri arasındaki farkın yaklaşık ortalama %2,4 olduğu görülmektedir. 2050 iklim verilerine göre yapılan simülasyon sonuçlarının TMY iklim verileri ile gerçekleştirilen simülasyonlara göre daha fazla olmasının sebebi Adana ilinde soğutma sezonunun daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar İzmir ili sonuçları ile benzerlik göstermekle birlikte 2050 iklim verilerinin Adana'da daha fazla tüketime yol açtığı hesaplanmıştır. Dolayısıyla daha güneyde yer alan bölgelerde iklim krizi etkisinin önümüzdeki yıllarda kuzeyde yer alan bölgelere göre daha fazla olacağı değerlendirilmektedir.

Şekil 4.27'de görüleceği üzere enerji tüketim yoğunluğu en az çıkan senaryolar TMY iklim verilerine göre 4D olurken 2050 iklim verilerine göre 4A olmuştur. Ancak her iki senaryo için çıkan sonuçlar birbirine çok yakındır (4A_2050: 73.42 kWh/m², 4D_TMY: 72.76 kWh/m²). Bu senaryolarda ısıl geçirgenlik katsayıları ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alan oranı en az seçenek olan %31 değerindedir. D senaryosunda cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %40 olurken E senaryosunda bu değer %44 şeklindedir.

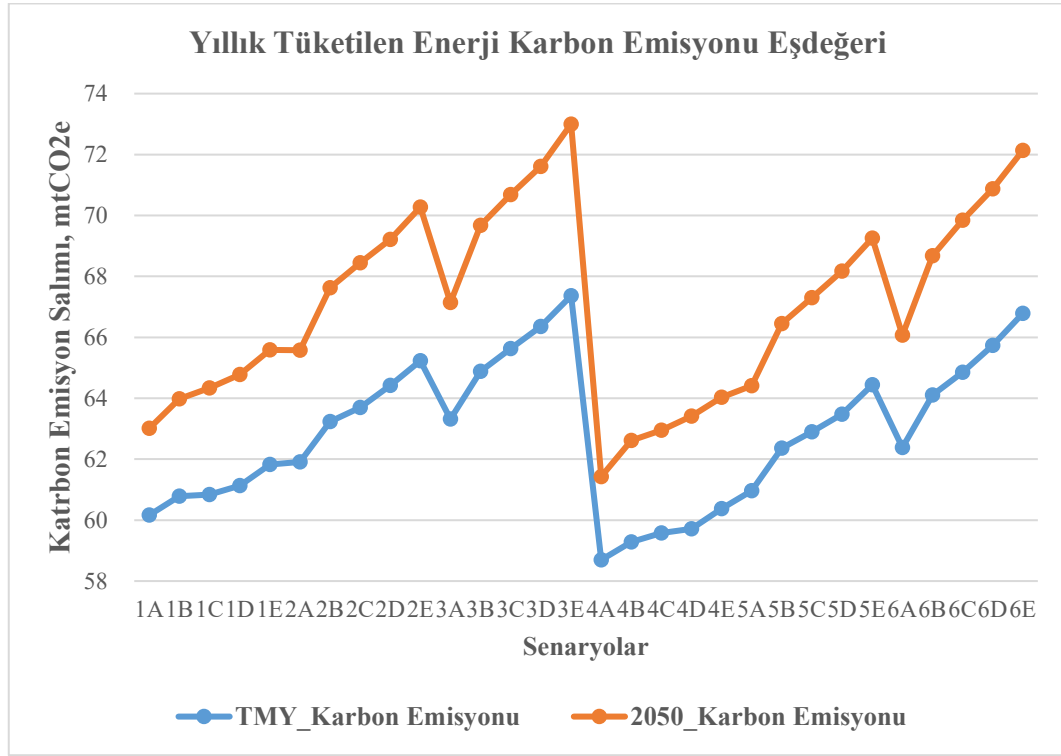
Enerji tüketim yoğunluğunun en fazla çıktığı senaryo ise hem TMY iklim verileri ve hem de 2050 iklim verileri için 3E senaryosu olmuştur. 2050 iklim verilerinin kullanıldığı 3E senaryosu için hesaplanan enerji yoğunluğu değeri TMY verilerine göre yapılan simülasyondan daha fazladır (3E_2050: 83.46 kWh/m², 3E_TMY: 79.94 kWh/m²). Bu senaryoda ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825 standardına göre belirlenmiş olup cephe saydam alanı oranı %55 ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 şeklindedir.

Dolayısıyla yukarıda bahsedilen enerji modellemesi sonuçları enerji yoğunluğu karşılaştırması açısından değerlendirildiğinde bu çalışma kapsamında incelenen senaryolardan cam oranı en büyük, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri en büyük ve yalıtım kalınlığı daha az olan seçeneğin en fazla enerji tüketimine yol açtığı görülmektedir.

Enerji tüketim değerlerinin karbon emisyonu açısından da değerlendirmesi yapılmıştır. İstanbul ili için yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırma yapıldığında TMY iklim verilerine göre hesaplanan karbon emisyon değerlerinde %3, 2050 iklim verilerine göre ise yaklaşık %9 oranında artış olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla iklim değışikliği etkisinin karbon salımı açısından Adana ilinin İstanbul'a kıyasla daha fazla etkilediği sonucuna varılmıştır.

Karbon emisyon miktarlarındaki değışim 2050 senaryolarında TMY senaryolarına göre %6,7 daha fazladır. Dolayısıyla soğutma tüketimindeki artışın ısıtma tüketimindeki azalışa oranla daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Emisyon eşdeğeri ile ilgili trendler Şekil 4.29'da paylaşılmaktadır.



Şekil 4.29 Tüm senaryolar için toplam karbon emisyonu değeri, Adana

Karbon emisyon miktarının en fazla olduğu senaryo her iki iklim verisinde de 3E senaryosu olmuştur. 3E senaryosunda bina kabuğu opak alan ısıl geçirgenlik katsayıları TS 825 standardına göre belirlenmiş olup cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %44 ve cephe saydam alan oranı %55 şeklindedir. 3E TMY senaryosunda karbon emisyon eşdeğeri 67.36 mtCO₂e iken 2050 senaryosunda 73.00 mtCO₂e şeklindedir. Bu değlerden de görülebileceği üzere iklim değışikliği ile karbon salımında ciddi bir artışın ortaya çıkacağı görülmektedir.

Karbon emisyon miktarının her iki iklim verisinde de en düşük seviyede olduğu 4A senaryosunda ise ısıl geçirgenlik ASHRAE 90.1 standardına göre belirlenmiş olup cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri %25 ve saydam alan oranı %31'dir. 4A TMY senaryosunda karbon emisyon eşdeğeri 58,69 mtCO₂e iken 2050 senaryosunda

61,43 mtCO₂e şeklindedir. Dolayısıyla simülasyon sonuçları karbon emisyonu açısından değerlendirildiğinde, cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri ve cephe saydam alan oranı bu çalışmada belirtilen senaryolarda en düşük değerlere sahip olan önlemlerin daha az emisyonu yol açtığını göstermektedir. Buna ek olarak yalıtım kalınlıklarının daha fazla olduğu senaryonun da karbon emisyonu açısından daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir.

2050 iklim verileri öngörülerindeki sıcaklık artışı Adana ili için soğutma tüketimini belirgin bir miktarda artırmaktadır. Isıtma tüketiminde azalış olsa da soğutma tüketimindeki artış oranı genel tüketim içerisinde baskın gelmektedir. Bina cephesinde daha az miktarda saydam alan olması ve cam güneş enerjisi geçirgenlik değerinin daha az olduğu senaryolar soğutma tüketiminin azaltılması açısından en ideal senaryolar olarak karşımıza çıkmıştır. Yapı kabuğu opak alan ısı geçirgenlik katsayılarındaki değişimin ise soğutma tüketimine belirgin bir etkide bulunmadığı ancak ısıtma tüketiminde TMY verilerine göre yaklaşık %15, 2050 iklim verilerine göre ise yaklaşık %18 oranında bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

4.4 Değerlendirme

Tez çalışması kapsamında ortaya çıkan bulgular aşağıda özetlenmektedir.

Bina cephesi saydam alan oranındaki artış

Bu tez çalışmasında üç farklı cam/cephe oranı (WWR: %31, WWR: %46, WWR: %55) değerlendirilmiştir. Cam oranları belirlenirken modelde otomatik olarak saydam alan artırma yöntemi yerine mevcut cam alanlarının büyütülmesi yöntemi kullanılmıştır.

- Yapılan simülasyonlarda cephe saydam alan artışının ısıtma tüketimine olan etkisinin soğutma tüketimine olan etkisine kıyasla daha sınırlı olduğu görülmüştür.
- Cam güneş enerjisi geçirgenlik katsayısının düşük ancak cephe saydamlık oranının yüksek olduğu senaryolarda ısıtma tüketimi daha fazla olmuştur. Örneğin Ankara için yapılan simülasyonlarda SHGC değerinin %25 ve cam oranının %31 olduğu 4A senaryosu ile cam oranının %55 olduğu ve aynı SHGC değerine sahip 6A senaryosu arasındaki ısıtma tüketimi farkı %9,3

olmuştur. 6A senaryosu 4A senaryosundan daha fazla ısıtma tüketimine sahiptir.

- Cam güneş enerjisi geçirgenlik katsayısının ve cephe saydamlık oranının yüksek olduğu senaryolarda ise ısıtma tüketimi daha az olmuştur. Örneğin Ankara şehrinde SHGC değerinin %44 olduğu 4E ve 6E senaryoları karşılaştırıldığında ısıtma tüketiminde %1,3 azalış olduğu görülmüştür. 4E senaryosu 6E senaryosuna göre daha fazla ısıtma tüketimine sahiptir.
- Cam alanındaki artışın soğutma tüketimini ciddi oranda etkilediği görülmüştür. SHGC oranındaki artışın cam oranındaki artış ile birleşmesiyle soğutma tüketiminde ortalama %50 oranında artış olmaktadır. Artış miktarı ısıtma sezonunun baskın olduğu Ankara ilinde oransal olarak diğer illere göre daha fazla olsa da tüketimdeki niceliksel artış en fazla Adana ilinde olmuştur.

Cam güneş enerjisi geçirgenlik oranındaki artış

Beş farklı cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri (g: %25, g: %33, g: %37, g: %40, g: %40) farklı senaryolarda kullanılmıştır. Cam seçimleri yapılırken solar low-e özellikli seçenekler değerlendirilmiştir.

- Cam güneş enerjisi geçirgenlik değerindeki artış miktarı soğutma tüketimini ciddi miktarda artırmaktadır. Niceliksel olarak en fazla artış Adana ve İzmir şehirlerinde olmuştur. Bu illerdeki artış oranı SHGC değerinin %25 olduğu senaryolar ile SHGC değerinin %44 olduğu senaryolar arasında %50 oranını bulmaktadır.
- Ankara şehri için TMY verilerinin kullanıldığı 3A ve 3E senaryoları arasındaki fark %90,1 şeklindedir. Oransal olarak diğer illere göre çok daha fazla artışın Ankara ilinde olmasının sebebi soğutma tüketiminin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
- Isıtma tüketimlerine bakıldığında ise cam güneş enerjisi geçirgenlik değeri artışı ile yaklaşık %20 oranında ısıtmada düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşüş miktarı oransal olarak Adana ili sonuçlarında daha fazla olsa da niceliksel olarak en fazla Ankara şehrinde gerçekleşmiştir.

Yapı kabuğu dolu alanında yalıtım kalınlığının artırılması

Opak alan ısıl geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için TS 825-2013 ve ASHRAE 90.1-2022 standartları kullanılmıştır. Bu standartlarda farklı iklim bölgeleri için belirtilen minimum performans değerleri her bir şehir için ayrı ayrı değerlendirilerek yalıtım kalınlıklarının değiştirilmesi ile modele girilmiştir.

- Isı yalıtım kalınlığındaki artış ile ısıtma tüketiminde azalma sağlanmıştır. TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda İstanbul için ısıtma tüketimindeki azalma oranı %10 olurken 2050 yılı verilerine göre azalış oranı %11,2 şeklinde gerçekleşmiştir.
- Gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre ısı yalıtım kalınlığındaki artışın soğutma tüketimine etkisi oldukça sınırlıdır. Soğutma tüketimine oransal olarak en fazla etki 2050 yılı iklim verilerine göre Adana şehri için yapılan simülasyonlarda hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının artırıldığı senaryolardaki soğutma tüketimi TS 825-2013 standardına göre yapılan modellere göre %2,4 daha az soğutma tüketimine sahiptir. TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlarda bu oran %1,1 şeklindedir.
- İklim değişikliği sonucu soğutma tüketimlerinin önemli miktarda artış göstereceği düşünülürse, bina cephesi dolu alanlarında yalıtım kalınlıklarının artırılması bina yıllık enerji tüketimini etkilemeyecektir.

Farklı iklim bölgelerinin analizi

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen iklim bölgeleri; İstanbul, Ankara, İzmir ve Adana şeklindedir.

- Isıtma ve soğutma derece gün değerlerinden de bekleneceği üzere ısıtma tüketiminin en fazla olduğu şehirler sırasıyla; Ankara, İstanbul, İzmir, Adana şeklindedir. Soğutma tüketimi de bu sıralamanın tam tersi şekilde yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır.
- Toplam enerji tüketimi incelendiğinde ise ortalama en fazla tüketim yoğunluğunun TMY ve 2050 yılı iklim verilerine göre Ankara şehrinde olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise ısıtma tüketiminin diğer şehirlere oranla çok daha fazla olmasıdır.
- Oluşturulan modelde ısıtma ihtiyacının doğalgaz ile sağlanması ve elektrik enerjisi karbon emisyon faktörünün doğalgazın yaklaşık iki katı olması

sebebiyle karbon emisyon değerleri soğutmanın baskın olduğu Adana ve İzmir şehirlerinde diğer illere oranla daha fazladır.

- En yüksek karbon emisyon değeri (73,00 mtCO₂e) 2050 yılı iklim verilerine göre yapılan simülasyonda Adana ili için 3E senaryosunda gerçekleşmiştir.

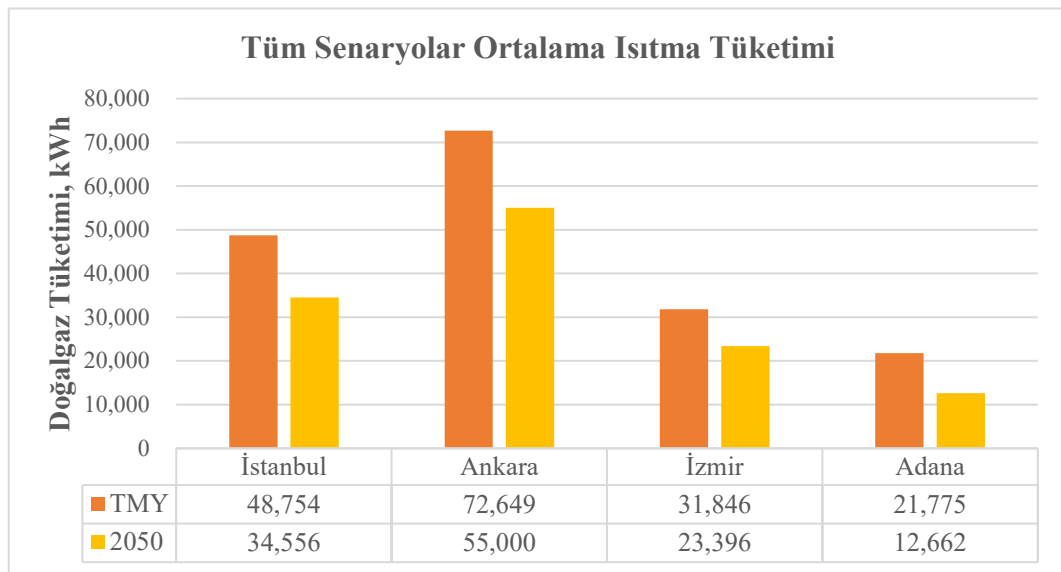
TMY ve 2050 yılı iklim verilerinin analizi

Geçmiş yılları içeren TMY iklim verileri ve SSP 2-4.5 senaryosuna göre oluşturulan 2050 yılı iklim verileri bu çalışmada kullanılmıştır. Farklı iklim verileri ile ilgili modelde çıkan bulgular aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

- Gerçekleştirilen simülasyonlarda ısıtma tüketiminin iklim değişikliği sonucu ortaya çıkacak yeni koşullarda önemli miktarda düşeceğini göstermektedir.

Tablo 4.2 Isıtma tüketimi değişim oranları

Şehirler	Tüm Senaryolar Ortalama Isıtma Tüketimi, kWh		Değişim Oranı
	TMY	2050	%
İstanbul	49,754	34,556	-%29,1
Ankara	72,649	55,000	-%24,3
İzmir	31,846	23,396	-%26,5
Adana	21,775	12,662	-%41,9

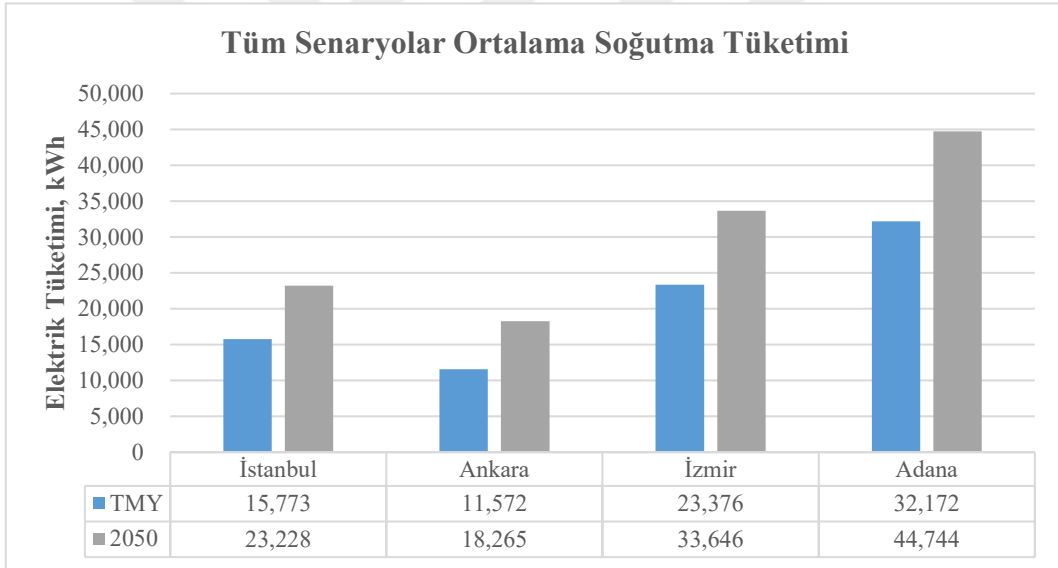


Şekil 4.30 Tüm senaryolar ortalama ısıtma tüketimi

- Yapılan simülasyonlar sonucunda 2050 yılı iklim verilerinin bina soğutma tüketimlerini önemli oranda etkileyeceği görülmektedir. Soğutma tüketimindeki değişimler oranları TMY iklim verilerine göre yapılan simülasyonlara göre Tablo 4.2'deki gibidir.

Tablo 4.3 Soğutma tüketimi değişim oranları

Şehirler	Tüm Senaryolar Ortalama Soğutma Tüketimi, kWh		Değişim Oranı
	TMY	2050	%
İstanbul	15,773	23,228	+%47,3
Ankara	11,572	18,265	+%57,8
İzmir	23,376	33,646	+%43,9
Adana	32,172	44,744	+%39,1



Şekil 4.31 Tüm senaryolar ortalama soğutma tüketimi

- Geçmiş yıllar iklim koşullarını yansıtan TMY verilerinin günümüz iklim koşulları ile kıyaslandığında daha düşük kuru termometre sıcaklıklarına sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla TMY verilerine göre yapılan enerji modellemesi simülasyonlarında özellikle Ankara ve İstanbul şehirleri için ısıtma tüketimleri beklenenden yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde soğutma tüketimleri de mevcut iklim koşullarına göre beklenenden daha az çıkmıştır.

- Enerji modellemesi çalışmalarında kullanılan iklim verilerinin (genellikle kayıt altına alınan geçmiş tüm yılları yansıyan TMY verileri) kontrol edilerek günümüz iklim koşullarını yansıtacak şekilde yenilenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak bina yıllık enerji tüketimi öngörüsü yapmak amacıyla kullanılan çalışmalarda oluşturulan enerji modellemeleri gerçek durumdaki bina kullanım koşulları ve enerji tüketen sistemleri yansıtsa da simülasyonda kullanılan iklim verilerinin de hesaplanan tüketim sonuçları üzerinde oldukça belirleyici olduğu görülmüştür.

Gelecek yıllar iklim verilerine göre gerçekleştirilen simülasyonlarda bina soğutma ihtiyacındaki artışın karşılanabilmesi için elektrik altyapısının artan talebi karşılayacak şekilde geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Buna ek olarak önümüzdeki yıllarda azalması beklenen bina ısıtma talebinin de performans değeri çok daha yüksek olan ve düşük sıcaklıkta çalışma imkânı sunan ısı pompaları ile karşılanması gerektiği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında bina kabuğunda uygulanabilecek pasif enerji verimliliği önlemleri değerlendirildiği için ısı pompası önerisi gibi aktif sistem enerji verimliliği önlemleri ileride gerçekleştirilmek üzere başka çalışmaların kapsamına bırakılmıştır.

5

SONUÇ

Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlar ile sağlanmakta ve önemli oranda ithalata dayanmaktadır. Konut, ticaret ve hizmet binaları nihai enerji tüketimi ise toplam tüketimin yaklaşık üçte birine denk gelmektedir. Dolayısıyla binalarda enerji verimliliği çalışmalarının fosil yakıttan uzaklaşma ve ithalata dayalı enerji talebini azaltma amacıyla geliştirilerek ön plana alınma ihtiyacı karşımıza çıkmaktadır. Türkiye birincil enerji arzı ve nihai enerji tüketimleri bölüm 2.1’de incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında binalarda enerji verimliliğinin artırılması için uygulanabilecek yapı fiziki pasif önlemleri farklı senaryolar ile değerlendirilmiştir. Oluşturulan senaryoların farklı iklim bölgelerinde bina enerji tüketimine nasıl etki edeceği sorusuna cevap aranmıştır.

Gerçekleştirilen literatür taramasında yapı fiziki pasif enerji verimliliği önlemlerinin değerlendirildiği çalışmalar incelenmiştir. Özellikle farklı iklim bölgeleri için yapılan araştırmalarda gelecek iklim verilerinin de bina tasarımında önemli bir parametre olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Ancak Türkiye’de yapılan çalışmalarda bu konuda detaylı bir analiz olmadığı görülmüştür. Literatürdeki bu boşluğun doldurulmasına katkı sunmak amacıyla bu tez çalışmasında gelecek iklim verilerinin bina tasarımına etkisinin değerlendirilmesine karar verilmiştir.

Yıllık enerji tüketimin öngörülmesi amacıyla özellikle yeşil bina sistemlerinde kullanılan bina enerji modellemesi çalışmalarında genel olarak geçmiş yıllarda kaydedilen iklim verilerini yansıtan tipik meteorolojik yıllar (TMY) kullanılmaktadır. Ancak yeni yapılan bina ömrünün yaklaşık 50 yıl olacağı kabul edildiğinde gelecek iklim verilerinin de bina tasarımında değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, iklim değişikliği

sonucu ortaya çıkması öngörülen yeni iklim koşullarının analizi yapılarak geçmiş iklim verilerine göre karşılaştırması yapılmıştır.

IPCC 6. Değerlendirme Raporunda sunulan SSP2-4.5 (Yolun Ortası) senaryosuna göre 2050 yılı iklim verileri oluşturularak bu tez çalışmasında gerçekleştirilen enerji modellemesi simülasyonları 2050 yılı iklim verileri ile tekrarlanmıştır.

2050 yılı iklim verilerinin enerji modellemesinde kullanılacak formata getirilmesi amacıyla araştırmalar yapılmış ve bunun sonucunda “Future Weather Generator” programının kullanılmasına karar verilmiştir. Gelecek iklim verilerinin oluşturulması hakkındaki detaylı bilgiler bölüm 2.3’te sunulmuştur.

Çalışma kapsamında enerji modellemesi senaryolarının oluşturulması için ulusal ve uluslararası standartlar kullanılmıştır. Oluşturulan senaryoların modellenmesinde ise DesignBuilder v7.3 ve EnergyPlus v9.4 programları kullanılmıştır.

Türkiye’de yer alan tipik dört katlı bir konut binası özellikleri modele yansıtılmıştır. Isıtma sistemi ve kullanım sıcak su talebini karşılamak için doğalgaz yakıtlı kazan tasarlanmıştır. Daire soğutma ihtiyacının karşılanması için de ortalama bir verim değerine sahip multi split klimalar modele eklenmiştir. Daire içerisinde bulunan diğer yükler ise konut ihtiyaçları göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Oluşturulan modelle ilgili detaylı bilgiler bölüm 3’te paylaşılmıştır.

Türkiye’de yer alan dört farklı şehir için yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda 2050 iklim verileri öngörülerine göre bina soğutma tüketimlerinde yüksek oranlarda artış olacağı görülmüştür. İnsan kaynaklı küresel ısınma senaryolarına göre önümüzdeki yıllarda dış hava sıcaklığının artacağı öngörülmektedir. Bu durum bina soğutma talebini artırmakla birlikte ısıtma talebinde de azalmaya yol açmaktadır. Isıtma ve soğutma tüketimindeki hesaplanan değişim miktarları bölüm 4’te detaylı şekilde gösterilmektedir.

Soğutma talebindeki artışın karşılanabilmesi için bina cephesi saydamlık oranı ve cam güneş enerjisi geçirgenlik katsayısının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Farklı alternatiflerin analiz edilmesi amacıyla modelleme araçlarının kullanılması sonucu optimum faydanın sağlanabileceği bina kabuğu tasarımını yapmak mümkün olacaktır. Yapı kabuğu dolu alan ısı geçirgenlik katsayılarının da ısıtma tüketimine doğrudan etkisi olduğu yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Farklı iklim bölgelerinde ısıtma talebinin azaltılması

için gereken yalıtım kalınlıkları da farklılık göstermektedir. Dolayısıyla bina ısıtma talebinin azaltılması için yalıtım kalınlıklarının ve dolu alan yapı elemanlarının farklı iklim bölgeleri verilerine göre analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, ulusal ve uluslararası farklı standartlarda belirtilen yönergeler ile yapılan kabuller neticesinde hesaplanmıştır. Hesaplamaların yapılması amacıyla dinamik simölasyon programları kullanılmıştır. Simölasyonlarda kullanılan iklim verilerinin oluşturulması amacıyla da gelecek iklim senaryoları incelenerek modele yansıtılmıştır. Dolayısıyla gerçekleştirilen çalışmalar bina enerji tüketimi, yapı kabuğu ve iklim verileri etkilerinin ortaya çıkarılması amacıyla yapılan simölasyonlardan oluşmaktadır. Gerçek tüketim değerleri ve iklim verileri birçok değişkene bağlı olup yapılan modellemelerden farklılık gösterecektir. Bu tez çalışmasındaki model girdileri gerçekte oluşacak verilere yakınsamak amacıyla uluslararası kabul görmüş standart ve rehberlere göre belirlenmiştir. Konut binası örneğinin kullanıldığı bu tez çalışmasındaki çıktıların benzer araştırmalara kaynak olması hedeflenmektedir. Ofis, hastane, sanayi gibi farklı bina tipleri için de modellerin oluşturularak gelecek iklim verilerinin yapı kabuğuna olan etkisinin analiz edilmesi gelecekte yapılması önerilen çalışmalar arasındadır.

Gerçekleştirilen simölasyonlar neticesinde iklim değişikliğinin farklı iklim bölgelerinde birbirinden farklı sonuçlara neden olacağı anlaşılmıştır. Bina kabuğunda yapılacak olan pasif enerji verimliliği önlemlerinin farklı iklim bölgelerinin ihtiyaçlarına göre belirlenmesi gerektiği görölmektedir. Buna ek olarak gelecek iklim verilerinin bina tasarım aşamasında gerçekleştirilen analiz çalışmalarına dahil edilmesi ile iklim değişikliğine dayanıklı ve uyumlu bir yapı tasarımı hedefine ulaşmak mümkün olacaktır.

- [1] S. D. Mangan and G. K. Oral, “Impacts of future weather data on the energy performance of buildings in the context of urban geometry”, *Cogent Engineering*, 7:1, 2020.
- [2] J. Ferdyn-Grygierek, I. Sarna and K. Grygierek, “Effects of Climate Change on Thermal Comfort and Energy Demand in a Single-Family House in Poland”, *Buildings*, 11(12):595, 2021.
- [3] A. Sabuna and A. Kanapickas, “Estimation of climate change impact on energy consumption in a residential building in Kaunas, Lithuania, using HEED Software”, *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 92-99, 2017.
- [4] R. Silva, S. Eggimann, L. Fierz, M. Fiorentini, K. Orehounig and L. Baldini, “Opportunities for passive cooling to mitigate the impact of climate change in Switzerland”, *Building and Environment*, vol 208, 2022.
- [5] Z. J. Zhai and J. M. Helman, “Implications of climate changes to building energy and design”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 44, pp. 511-519, 2019.
- [6] A. E. Stagrum, E. Andenaes, T. Kvande and J. Lohne, “Climate Change Adaptation Measures for Buildings—A Scoping Review”, *Sustainability*, 12, 1721, 2020.
- [7] M. L. Rivera, H. L. MacLean and B. McCabe, “Implications of passive energy efficiency measures on life cycle greenhouse gas emissions of high-rise residential building envelopes”, *Energy&Buildings*, vol. 249, 2021.
- [8] R. F. De Masi, V. Festa, A. Gigante, S. Ruggiero and G. P. Vanoli, “The role of windows on building performance under current and future weather conditions of European climates”, *Energy&Buildings*, vol. 292, 2023.
- [9] B. C. O’Neill, E. Kriegler, K. Riahi, K. L. Ebi, S. Hallegate, T. R. Carter, R. Mathur and D. P. van Vuuren, “A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways”, *Climatic Change*, vol. 122, pp. 387-400, 2014.
- [10] E. Rodrigues, M. S. Fernandes and D. Carvalho, “Future weather generator for building performance research: An open-source morphing tool and an application”, *Building and Environment*, vol. 233, 2023.
- [11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ulusal enerji denge tabloları <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> 25.01.2025.
- [12] IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021.
- [13] IPCC, Climate Change 2023 Synthesis Report, 2023.
- [14] IPCC, Climate Change 2021 The Physical Science Basis, 2021.

- [15] Y. Ünal, “Küresel İklim Projeksiyonları ve Türkiye’de İklim Değişimi”, Türkiye Bilimler Akademisi, 29-48, 2023.
- [16] K. Riahi and others, “The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview”, Global Environmental Change, vol. 42, pp. 153-168, 2017.
- [17] E. Kriegler and others, “Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century”, Global Environmental Change, vol. 42, pp. 297-315, 2017.
- [18] Climate data, Shared Socio-economic Pathways, <https://climatedata.ca/resource/understanding-shared-socio-economic-pathways-ssps/>, 25.01.2025.
- [19] T. Hong, J. Langevin and K. Sun, “Building Simulation: Ten Challenges”, Building Simulation, vol. 11(1), 2018.
- [20] S. Pusat, İ. Ekmekçi and M. T. Akkoyunlu, “Generation of typical meteorological year for different climates of Turkey”, Renewable Energy, vol. 75, pp. 144-151, 2015.
- [21] EnergyPlus, Weather Data, https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/TUR, 25.01.2025.
- [22] Climate.onebuilding, Europe-Region 6, Türkiye Weather Data, https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkiye/index.html, 25.01.2025.
- [23] Meteonorm, Future Weather Data, <https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8>, 25.01.2025.
- [24] WeatherShift, <https://weathershift.com/weathershift/home>, 25.01.2025.
- [25] DesignBuilder Analytics, <https://analytics.designbuilder.co.uk/#index>, 25.01.2025.
- [26] CCWeatherGen, <https://energy.soton.ac.uk/ccweathergen/>, (Erişim tarihi: 25.01.2025).
- [27] Future Weather Generator, <https://future-weather-generator.adai.pt/>, 25.01.2025.
- [28] EC-Earth, Climate Change Model, <https://ec-earth.org/ec-earth/ec-earth3/>, 25.01.2025.
- [29] ASHRAE 90.2-2007 Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, Section 8.8.3.4.2.
- [30] ASHRAE 55-2023 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Sections 4-7.
- [31] Center for the Built Environment, CBE Thermal Comfort Tool, <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>, 25.01.2025.
- [32] ASHRAE 90.1-2022 Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Appendix G.
- [33] USGBC, Multifamily Energy Modeling Guidance, Lighting Section.

- [34] Eurostat, Residential electricity consumption, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households, 25.01.2025.
- [35] USGBC, Reference Guide for Homes Design and Construction, Energy and Atmosphere Credit, Lighting.
- [36] Energy Star, Multifamily New Construction Program, Simulation Guidelines v1.0, Section 3, 2019.
- [37] BS EN 17037:2018+A1:2021 Daylight in buildings, Annex NA.
- [38] ASHRAE 90.1-2016 User's Manual, Section G Performance Rating Method. BS EN 17037:2018+A1:2021 Daylight in buildings, Annex NA.
- [39] TS 825 – 2013 Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ek A.
- [40] Şişecam, Solar Low-e Cam, <https://www.sisecam.com/tr/duz-cam-urun-katalogu/sisecam-solar-low-e-cam> 25.01.2025.
- [41] ASHRAE meteo, Climatic design conditions, Türkiye, <https://ashrae-meteo.info/v2.0/>, 25.01.2025.
- [42] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Derece gün değerleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx>, 25.01.2025.
- [43] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, Emisyon faktörleri, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>, 25.01.2025.

A

ASHRAE İKLİM TASARIM KOŞULLARI

2021 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)																		
ISTANBUL ATATURK, TURKEY (WMO: 170600)																		
Lat:40.967N				Long:28.817E				Elev:33		StdP: 100.93		Time zone:3.00 (E03)		Period:94-19		WBAN:99999		
Annual Heating, Humidification, and Ventilation Design Conditions																		
Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB		WSF			
			99.6%			99%			0.4%		1%							
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD				
1	-1.4	0.0	-6.6	2.2	2.2	-5.0	2.5	2.8	13.5	1.7	12.4	2.8	6.5	0	0.505			
Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions																		
Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB				
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%						
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD			
8	7.2	32.1	21.5	30.9	21.3	29.9	21.1	24.5	28.0	23.6	27.6	22.9	27.2	5.6	20			
Dehumidification DP/MCDB and HR																		
0.4%			1%			2%			0.4%			1%			2%			Extreme Max WB
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB				
23.2	18.1	26.5	22.2	17.0	26.0	21.5	16.2	25.7	74.3	27.8	70.9	27.4	68.2	27.3	27.9			
Extreme Annual Design Conditions																		
Extreme Annual WS			Extreme Annual Temperature				n-Year Return Period Values of Extreme Temperature											
			Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years					
			1%	2.5%	5%	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max			
11.2	10.0	9.0	DB	-4.0	34.9	2.4	1.6	-5.7	36.1	-7.1	37.0	-8.4	37.9	-10.1	39.0			
			WB	-4.8	25.2	2.2	1.2	-6.4	26.0	-7.8	26.8	-9.0	27.5	-10.6	28.3			
Monthly Climatic Design Conditions																		
			Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
Temperatures, Degree-Days and Degree-Hours	DBAvg	15.8	6.5	7.0	9.0	13.1	18.2	22.9	25.7	25.9	21.9	17.1	12.6	8.5				
	DBStd	7.61	3.69	3.64	3.51	3.43	2.95	2.64	1.97	2.11	2.81	3.05	3.59	3.63				
	HDD10.0	374	118	94	62	9	0	0	0	0	0	1	17	73				
	HDD18.3	1716	367	316	289	160	39	1	0	0	4	59	174	306				
	CDD10.0	2474	9	11	31	103	254	388	488	494	357	220	94	26				
	CDD18.3	776	0	0	0	3	34	139	229	236	112	21	2	0				
Precipitation	CDH23.3	5539	0	0	0	13	131	858	1952	2018	531	36	1	0				
	CDH26.7	1507	0	0	0	1	17	208	589	602	87	2	0	0				
Wind		WSAvg	4.5	4.8	4.8	4.4	4.0	3.9	4.2	4.8	4.9	4.3	4.3	4.2	4.9			
Precipitation	PrecAvg	640	95	62	58	51	30	28	22	22	31	57	85	113				
	PrecMax	1026	193	138	132	166	115	59	85	94	162	139	208	361				
	PrecMin	452	12	12	14	11	3	0	0	0	1	2	35	21				
	PrecStd	126	52	33	35	34	24	19	20	24	33	37	41	69				

Şekil A.1 İstanbul iklim tasarım koşulları

2021 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)															
ADANA SAKIRPASA, TURKEY (WMO: 173520) Lat:36.982N Long:35.280E Elev:20 StdP: 101.09 Time zone:3.00 (E03) Period:94-19 WBAN:99999															
Annual Heating, Humidification, and Ventilation Design Conditions															
Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB		WSF
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD	
1	1.2	3.0	-11.2	1.4	8.3	-8.9	1.8	8.8	9.1	9.6	8.2	10.2	1.6	30	0.383
Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions															
Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	2%	MCWS	PCWD
8	10.0	36.4	22.4	35.1	23.2	34.1	23.5	26.6	32.0	26.1	31.2	25.7	30.5	3.7	210
Dehumidification DP/MCDB and HR															
0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%		0.4%		1%	
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Extreme Max WB
25.2	20.3	28.6	24.9	20.0	28.5	24.2	19.1	28.2	83.1	32.0	81.0	31.6	79.2	30.3	30.2
Extreme Annual Design Conditions															
Extreme Annual WS			Extreme Annual Temperature				n-Year Return Period Values of Extreme Temperature								
1%	2.5%	5%	Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
7.7	6.7	6.0	DB	-1.8	40.2	1.9	1.9	-3.2	41.5	-4.3	42.6	-5.3	43.6	-6.7	45.0
			WB	-3.6	27.8	1.9	1.0	-5.0	28.6	-6.1	29.2	-7.2	29.7	-8.6	30.5
Monthly Climatic Design Conditions															
Temperatures, Degree-Days and Degree-Hours	DBAvg	20.0	10.2	11.6	14.4	18.3	22.6	26.2	28.8	29.6	27.0	22.6	16.4	11.7	
	DBStd	7.25	2.55	2.94	2.80	3.06	2.83	1.92	1.22	1.19	2.05	3.03	3.06	2.62	
	HDD10.0	62	28	16	3	0	0	0	0	0	0	0	1	14	
	HDD18.3	884	252	188	124	37	2	0	0	0	0	5	71	206	
	CDD10.0	3713	34	61	140	248	391	486	584	608	512	391	193	66	
	CDD18.3	1494	0	0	3	35	134	236	326	350	262	137	13	0	
	CDH23.3	15948	0	4	37	340	1154	2297	3839	4313	2661	1157	142	4	
	CDH26.7	7223	0	0	4	110	461	1004	1814	2143	1224	441	21	1	
Wind	WSAvg	2.5	2.6	2.6	2.7	2.5	2.4	2.6	2.6	2.5	2.4	2.2	2.0	2.4	
Precipitation	PrecAvg	696	114	86	72	56	48	23	6	5	12	42	78	138	
	PrecMax	1265	394	236	206	193	211	125	56	49	56	116	343	416	
	PrecMin	319	10	2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
	PrecStd	227	91	54	47	46	44	27	13	12	15	34	67	105	

Şekil A.4 Adana iklim tasarım koşulları

B

ENERJİ MODELLEMESİ SONUÇLARI

Tablo B.1 Isıtma tüketimi sonuçları, İstanbul

Isıtma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	58.942	57.979	59.015	50.338	52.658	55.913
TMY	g: %33	B	54.676	52.367	52.283	47.677	47.131	47.944
TMY	g: %37	C	51.016	50.016	49.549	45.933	44.478	45.978
TMY	g: %40	D	49.618	48.095	47.521	44.556	42.683	43.324
TMY	g: %44	E	47.767	46.153	45.003	42.699	40.431	40.887
2050	g: %25	A	40.944	41.440	43.600	35.890	37.898	38.842
2050	g: %33	B	37.616	37.720	37.116	32.634	33.485	33.862
2050	g: %37	C	36.288	35.901	35.726	31.338	32.067	31.833
2050	g: %40	D	35.213	34.257	34.221	30.980	30.492	31.584
2050	g: %44	E	35.421	31.919	31.657	28.955	28.668	29.102

Tablo B.2 Isıtma tüketimi sonuçları, Ankara

Isıtma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	82,248	84,511	87,704	77,420	80,696	84,619
TMY	g: %33	B	76,082	75,959	77,922	71,313	74,696	74,756
TMY	g: %37	C	73,543	72,371	72,859	68,813	68,699	69,779
TMY	g: %40	D	71,562	69,762	69,988	66,866	66,138	66,959
TMY	g: %44	E	68,993	66,474	67,294	64,329	63,663	63,460
2050	g: %25	A	61,650	64,662	65,481	57,954	60,824	64,387
2050	g: %33	B	58,124	57,572	58,454	53,609	55,632	56,077
2050	g: %37	C	55,399	54,906	56,616	51,785	52,092	53,087
2050	g: %40	D	53,973	52,979	54,022	50,383	50,177	50,949
2050	g: %44	E	52,113	50,522	51,249	48,554	47,757	49,006

Tablo B.3 Isıtma tüketimi sonuçları, İzmir

Isıtma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	40,774	39,889	40,608	33,959	35,211	35,512
TMY	g: %33	B	36,754	34,582	34,449	31,209	30,076	30,502
TMY	g: %37	C	35,153	33,385	33,065	29,061	28,312	28,152
TMY	g: %40	D	33,906	31,455	30,760	28,425	26,548	26,631
TMY	g: %44	E	32,282	29,571	29,366	26,016	24,391	25,367
2050	g: %25	A	29,523	29,121	30,502	24,933	25,713	27,362
2050	g: %33	B	26,719	25,400	25,149	22,684	22,804	22,086
2050	g: %37	C	26,678	23,843	24,146	20,842	21,130	20,476
2050	g: %40	D	24,686	23,323	22,775	20,960	19,213	19,354
2050	g: %44	E	23,572	21,843	21,778	18,975	17,931	18,367

Tablo B.4 Isıtma tüketimi sonuçları, Adana

Isıtma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	28,812	27,930	28,808	24,194	24,824	25,575
TMY	g: %33	B	25,474	23,840	23,719	20,545	20,803	20,843
TMY	g: %37	C	24,194	22,074	21,930	20,079	19,190	18,940
TMY	g: %40	D	23,184	21,443	20,602	18,438	17,917	18,120
TMY	g: %44	E	22,599	19,726	18,786	17,623	16,676	16,355
2050	g: %25	A	17,426	16,818	16,832	14,275	14,399	14,420
2050	g: %33	B	14,754	14,534	14,350	12,246	11,896	11,960
2050	g: %37	C	13,912	13,409	12,804	11,226	10,738	10,930
2050	g: %40	D	13,274	12,623	11,913	10,618	10,304	10,351
2050	g: %44	E	13,025	11,643	11,230	9,567	9,293	9,077

Tablo B.5 Soğutma tüketimi sonuçları, İstanbul

Soğutma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	9,406	12,154	13,760	9,441	12,260	13,895
TMY	g: %33	B	11,263	15,218	17,516	11,392	15,422	17,729
TMY	g: %37	C	12,116	16,701	19,359	12,285	16,946	19,623
TMY	g: %40	D	12,829	17,874	20,794	13,034	18,149	21,086
TMY	g: %44	E	13,816	19,469	22,730	14,061	19,783	23,064
2050	g: %25	A	15,381	19,175	21,315	15,149	19,052	21,221
2050	g: %33	B	17,680	22,844	25,729	17,511	22,791	25,727
2050	g: %37	C	18,752	24,609	27,898	18,613	24,604	27,925
2050	g: %40	D	19,601	25,965	29,549	19,491	25,987	29,631
2050	g: %44	E	20,756	27,780	31,741	20,663	27,844	31,851

Tablo B.6 Soğutma tüketimi sonuçları, Ankara

Soğutma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	5,837	8,176	9,593	5,905	8,284	9,727
TMY	g: %33	B	7,449	10,956	13,091	7,566	11,160	13,281
TMY	g: %37	C	8,215	12,360	14,878	8,357	12,569	15,103
TMY	g: %40	D	8,853	13,481	16,295	9,016	13,717	16,545
TMY	g: %44	E	9,743	15,024	18,238	9,935	15,302	18,510
2050	g: %25	A	10,778	14,208	16,189	10,723	14,221	16,252
2050	g: %33	B	12,905	17,736	20,526	12,897	17,815	20,626
2050	g: %37	C	13,929	19,484	22,711	13,943	19,588	22,811
2050	g: %40	D	14,741	20,831	24,339	14,773	20,956	24,484
2050	g: %44	E	15,844	22,644	26,557	15,901	22,794	26,735

Tablo B.7 Soğutma tüketimi sonuçları, İzmir

Soğutma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	15,178	18,896	21,119	14,852	18,786	21,079
TMY	g: %33	B	17,519	22,805	25,928	17,320	22,839	26,048
TMY	g: %37	C	18,601	24,721	28,325	18,448	24,818	28,483
TMY	g: %40	D	19,495	26,203	30,151	19,398	26,355	30,376
TMY	g: %44	E	20,729	28,231	32,650	20,533	28,448	32,954
2050	g: %25	A	23,690	28,767	31,692	22,728	28,143	31,215
2050	g: %33	B	26,570	33,421	37,318	25,729	32,932	36,966
2050	g: %37	C	27,934	35,672	40,089	27,127	35,243	39,775
2050	g: %40	D	28,996	37,406	42,173	28,246	36,993	41,912
2050	g: %44	E	30,134	39,694	44,965	29,728	39,349	44,762

Tablo B.8 Soğutma tüketimi sonuçları, Adana

Soğutma Tüketimi (kWh)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	22,730	27,185	29,800	21,934	26,711	29,457
TMY	g: %33	B	25,545	31,754	35,356	24,868	31,429	35,169
TMY	g: %37	C	26,841	33,959	38,069	26,226	33,707	37,944
TMY	g: %40	D	27,899	35,681	40,158	27,319	35,474	40,096
TMY	g: %44	E	29,342	37,976	42,924	28,824	37,855	42,927
2050	g: %25	A	33,888	39,662	42,940	32,235	38,482	41,986
2050	g: %33	B	37,096	44,800	49,157	35,559	43,743	48,326
2050	g: %37	C	38,598	47,273	52,159	37,104	46,277	51,402
2050	g: %40	D	39,776	49,160	54,429	38,319	48,216	53,725
2050	g: %44	E	41,370	51,665	57,446	39,952	50,782	56,781

Tablo B.9 Toplam enerji tüketim değerleri, İstanbul

Toplam Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	82.99	83.48	84.54	79.13	81.18	83.29
TMY	g: %33	B	81.96	82.41	83.29	78.91	80.19	81.46
TMY	g: %37	C	80.37	81.82	82.72	78.26	79.48	81.29
TMY	g: %40	D	80.08	81.51	82.48	77.99	79.23	80.76
TMY	g: %44	E	79.82	81.48	82.33	77.74	79.07	80.66
2050	g: %25	A	77.63	79.40	81.32	75.27	77.79	79.10
2050	g: %33	B	77.22	79.49	80.43	74.93	77.57	78.98
2050	g: %37	C	76.92	79.34	80.70	74.65	77.63	78.95
2050	g: %40	D	76.83	79.23	80.80	74.93	77.56	79.69
2050	g: %44	E	77.60	79.06	80.69	74.61	77.66	79.63

Tablo B.10 Toplam enerji tüketim değerleri, Ankara

Toplam Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	91.50	93.33	95.32	89.38	91.68	94.02
TMY	g: %33	B	89.51	90.82	92.60	87.44	90.45	91.28
TMY	g: %37	C	88.46	89.67	90.95	86.43	88.13	89.69
TMY	g: %40	D	87.88	89.03	90.34	85.86	87.52	89.10
TMY	g: %44	E	87.24	88.36	90.14	85.26	87.26	88.52
2050	g: %25	A	84.64	87.43	88.59	82.96	85.68	88.17
2050	g: %33	B	84.09	85.88	87.48	82.04	85.08	86.46
2050	g: %37	C	83.14	85.37	87.61	81.53	84.15	86.02
2050	g: %40	D	82.89	85.14	87.19	81.29	83.94	85.85
2050	g: %44	E	82.63	84.93	87.03	81.07	83.76	86.11

Tablo B.11 Toplam enerji tüketim değerleri, İzmir

Toplam Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	77.38	78.44	79.69	74.20	76.33	77.37
TMY	g: %33	B	76.68	77.90	79.16	74.17	75.93	77.47
TMY	g: %37	C	76.19	78.07	79.52	73.42	75.85	77.35
TMY	g: %40	D	76.05	77.88	79.31	73.60	75.75	77.56
TMY	g: %44	E	75.99	78.06	79.93	73.09	75.82	78.28
2050	g: %25	A	76.31	78.31	80.25	73.83	76.51	78.62
2050	g: %33	B	76.40	78.82	80.43	74.24	77.47	78.88
2050	g: %37	C	76.88	79.02	81.17	73.85	77.64	79.34
2050	g: %40	D	76.44	79.62	81.52	74.47	77.56	79.84
2050	g: %44	E	76.52	80.07	82.44	74.28	78.13	80.78

Tablo B.12 Toplam enerji tüketim değerleri, Adana

Toplam Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	75.54	76.96	78.47	73.13	75.38	76.86
TMY	g: %33	B	75.36	77.26	78.76	72.84	75.76	77.39
TMY	g: %37	C	75.12	77.28	79.04	73.01	75.89	77.63
TMY	g: %40	D	75.16	77.82	79.42	72.76	76.13	78.28
TMY	g: %44	E	75.68	78.17	79.94	73.20	76.76	78.85
2050	g: %25	A	75.61	77.85	79.30	73.42	76.20	77.74
2050	g: %33	B	75.89	79.24	81.09	74.05	77.53	79.60
2050	g: %37	C	76.04	79.74	81.67	74.13	78.05	80.45
2050	g: %40	D	76.30	80.27	82.32	74.42	78.76	81.28
2050	g: %44	E	77.01	81.03	83.46	74.75	79.54	82.15

Tablo B.13 Toplam karbon emisyonu değerleri, İstanbul

Karbon Emisyon Eşdeğeri (mtCO ₂ e)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	60.84	61.63	62.52	58.81	60.45	61.90
TMY	g: %33	B	60.76	61.85	62.81	59.19	60.73	61.90
TMY	g: %37	C	59.98	61.78	62.87	58.91	60.61	62.18
TMY	g: %40	D	60.00	61.91	63.10	58.96	60.78	62.27
TMY	g: %44	E	60.17	62.35	63.55	59.14	61.15	62.76
2050	g: %25	A	59.47	61.27	62.78	58.17	60.39	61.57
2050	g: %33	B	59.84	62.25	63.43	58.59	61.22	62.66
2050	g: %37	C	59.84	62.53	64.05	58.61	61.63	63.13
2050	g: %40	D	60.01	62.82	64.52	58.98	61.94	63.96
2050	g: %44	E	60.76	63.22	65.05	59.15	62.50	64.52

Tablo B.14 Toplam karbon emisyonu değerleri, Ankara

Karbon Emisyon Eşdeğeri (mtCO ₂ e)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	64.35	65.78	67.14	63.25	64.93	66.48
TMY	g: %33	B	63.71	65.16	66.59	62.65	65.03	65.93
TMY	g: %37	C	63.20	64.79	66.06	62.16	64.02	65.44
TMY	g: %40	D	63.05	64.73	66.09	62.03	64.00	65.50
TMY	g: %44	E	62.99	64.81	66.52	61.99	64.31	65.73
2050	g: %25	A	61.98	64.24	65.30	61.07	63.31	65.11
2050	g: %33	B	62.24	64.31	65.83	61.14	63.92	65.31
2050	g: %37	C	61.89	64.41	66.39	61.04	63.79	65.57
2050	g: %40	D	61.96	64.63	66.59	61.12	64.03	65.91
2050	g: %44	E	62.14	65.01	67.09	61.32	64.43	66.65

Tablo B.15 Toplam karbon emisyonu değerleri, İzmir

Karbon Emisyon Eşdeğeri (mtCO ₂ e)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	59.24	60.60	61.76	57.48	59.46	60.52
TMY	g: %33	B	59.47	61.31	62.70	58.09	60.28	61.84
TMY	g: %37	C	59.32	61.77	63.40	57.83	60.62	62.29
TMY	g: %40	D	59.47	62.04	63.75	58.16	60.96	62.88
TMY	g: %44	E	59.81	62.69	64.75	58.22	61.56	63.96
2050	g: %25	A	60.83	63.08	64.82	59.27	61.98	63.83
2050	g: %33	B	61.61	64.54	66.34	60.26	63.71	65.44
2050	g: %37	C	62.12	65.15	67.38	60.30	64.31	66.33
2050	g: %40	D	62.15	65.91	68.09	60.92	64.71	67.13
2050	g: %44	E	62.51	66.75	69.31	61.23	65.64	68.38

Tablo B.16 Toplam karbon emisyonu değerleri, Adana

Karbon Emisyon Eşdeğeri (mtCO ₂ e)								
İklim Verileri	Cam Güneş Enerjisi Geçirgenliği		Pencere/Duvar Alanı			Pencere/Duvar Alanı		
			%31	%46	%55	%31	%46	%55
			TS 825-2013 U-değerleri			ASHRAE 90.1-2022 U-değerleri		
			1	2	3	4	5	6
TMY	g: %25	A	60.17	61.91	63.32	58.69	60.96	62.38
TMY	g: %33	B	60.79	63.23	64.88	59.28	62.36	64.11
TMY	g: %37	C	60.84	63.69	65.63	59.58	62.90	64.85
TMY	g: %40	D	61.13	64.42	66.35	59.72	63.47	65.74
TMY	g: %44	E	61.83	65.23	67.36	60.38	64.44	66.79
2050	g: %25	A	63.01	65.58	67.14	61.43	64.41	66.07
2050	g: %33	B	63.98	67.63	69.68	62.61	66.45	68.67
2050	g: %37	C	64.34	68.45	70.68	62.95	67.30	69.84
2050	g: %40	D	64.78	69.21	71.60	63.42	68.17	70.88
2050	g: %44	E	65.59	70.28	73.00	64.04	69.26	72.13

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. M. Dehmen, G. Zorer Gedik, “İklim Değişikliğinin Bina Tasarımına Etkileri ve Bina Enerji Modellemesi ile Örnek Önlemlerin Analizi”, (Özet, Sözlü Sunum), 10. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Bildiri Kitabı, sf. 479, İstanbul, 23-24 Kasım 2024.

